

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA GEOFÍSICA E ENERGIA



Monitorização dos modelos de quebra-mares com o sensor Microsoft Kinect V2

Mestrado em Engenharia Geográfica

César Bruno Gomes Rocha

Trabalho de Projeto orientado por:
Prof. Fernando Soares / Eng.^a Maria João Henriques

2017

Resumo

O presente estudo tem como objetivo determinar os movimentos dos centros dos blocos de quebra-mares, movimentos resultantes da incidência ondas diretamente na estrutura onde os blocos se situam. A metodologia foi aplicada a um modelo de quebra-mar e as ondas foram geradas em laboratório, num ambiente controlado. Os dados necessários para o estudo do movimento foram obtidos utilizando o sensor da Microsoft Kinect V2, o que permitiu verificar a viabilidade da aplicação deste sensor para este tipo de monitorização. No decorrer do estudo foram desenvolvidos processos para aquisição e processamento dos dados, que tinham, como objetivo último o cálculo dos movimentos dos centros dos blocos. A metodologia foi aplicada, com sucesso, em duas situações. Em ambas foram determinados os centros geométricos de dois blocos o que permitiu estimar o movimento destes: num o deslocamento foi na ordem dos 4 cm e no outro caso na ordem dos 8 cm. Sendo deslocamentos superiores à dimensão dos blocos (a qual é da ordem de 3 cm), são considerados deslocamentos assinaláveis / relevantes. Também resultante do estudo foi a verificação que o Kinect v2 é um sensor que consegue dar resposta aos requisitos deste tipo de ensaio pois permitiu recolha de dados que foram utilizados para determinar, com sucesso, os deslocamentos dos centros geométricos de blocos. Este sensor foi utilizado num outro cenário: o estudo da deformação do modelo do leito do rio Mondego após descargas do descarregador de cheias de uma barragem. Neste caso em concreto, o objetivo seria a determinação das diferenças entre nuvens de pontos geradas a partir dos dados recolhidos pelo Kinect V2. Verificou-se que os resultados corresponderam às expectativas e conseguiu-se determinar, com sucesso, a erosão correspondente às descargas simuladas nos ensaios. Transformando os resultados para a dimensão real verificou-se que o leito do rio sofreria uma erosão na ordem dos 11 m e seria criada de uma barra de assoreamento no leito do rio.

Palavras chave: Kinect, Monitorização, Quebra mar, Nuvens de pontos.

Abstract

This study the objective of determining the movements of the centers of breakwaters blocks, movements which would be generated by the incidence waves created in the laboratory and in a controlled environment. To acquire information required for motion study, we used the Microsoft Kinect V2 sensor, verifying the feasibility for this type of monitoring. During the study they were created processes of acquisition and processing of data, aimed for more automation as possible of the methodology applied for the calculation of the movements. In the course of the study it has been possible to determine the geometric center of the tetrapod's successfully in two separate case studies having been a movement in the first case in the order of 4 cm, and in the second case in the order of 8 cm, and all movements exceeding 3 cm are considered highly significant movements, it can be concluded that the use of the Kinect V2 can determine the movements of the geometric centers was a success. It was also discussed a study scenario on the deformation of the Mondego bed after unloading the filled on a dam spillway, again Kinect V2 corresponded to the expectations and was successfully determine the corresponding erosion in the simulated discharges the generated tests, and been an erosion of around 11 m and the creation of a silting bar in the river bed.

Key Words: Kinect, monitoring, breakwaters, geometric center of the tetrapod's.

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Fernando Soares, pela supervisão, motivação e interesse prestados ao longo deste importante percurso, pois sem o mesmo não seria possível a realização desta tese. Agradecer também à Eng. Maria João por todo apoio disponibilizado ao longo destes meses.

Ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil por toda a disponibilidade prestada e pelos recursos que foram postos à disposição.

A todos os meus colegas e amigos que ao longo destes anos me ajudaram a formar a pessoa que sou hoje.

À minha namorada por toda paciência durante este período.

Índice

1 ° -	INTRODUÇÃO	8
1.1	ENQUADRAMENTO	8
1.2	OBJETIVO.....	9
1.3	ESTADO DE ARTE	10
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	12
2 ° -	SENSOR KINECT	13
2.1	INTRODUÇÃO	13
2.2	HARDWARE	14
2.3	<i>SOFTWARE</i>	15
2.4	FUNCIONAMENTO DO KINECT	15
2.5	EXATIDÃO DO KINECT V2.....	17
3 ° -	CALIBRAÇÃO.....	21
3.1	AQUISIÇÃO	21
3.2	CALIBRAÇÃO DOS SENSORES RGB E IR	22
4 ° -	METODOLOGIA	27
4.1	MODELO CONCEPTUAL	27
4.2	AQUISIÇÃO DOS DADOS	28
4.3	PROCESSAMENTO DE NUVENS DE PONTOS	31
5 ° -	QUEBRA-MAR.....	39
5.1	INTRODUÇÃO	39
5.2	DESCRIÇÃO DO ENSAIO	39
5.3	RESULTADOS OBTIDOS.	41
5.4	SELEÇÃO DAS REGIÕES DE INTERESSE.....	43
6 ° -	BARRAGEM	49
6.1	INTRODUÇÃO	49
6.2	DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA	49
6.3	RESULTADOS OBTIDOS.	52
7 ° -	CONCLUSÃO	57
7.1	SUGESTÕES FUTURAS.....	58
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

Índice de Figuras

Figura 2-1 - Segunda versão do sensor Kinect.	14
Figura 2-2 - Demonstração dos sensores do Kinect V2 (Gonzalez-Jorge et al. 2015).....	14
Figura 2-3 - Esquematização do funcionamento do Kinect V2 (Castaneda & Navab 2011).....	15
Figura 2-4 - Representação do eixo de coordenadas, (Fankhauser et al. 2015)	16
Figura 2-5 - Representação do ruído na imagem de profundidade. (Corti et al. 2016)	18
Figura 2-6 - Representação dos ruídos com vários ângulos de incidência sobre a superfície (Corti et al., 2016).....	18
Figura 2-7 - Representação da exatidão do Kinect V2 ao longo de várias distâncias (Fankhauser et al. 2015).....	19
Figura 3-1 - Metodologia de calibração do sensor KV2.	21
Figura 3-2 - Exemplo de imagens adquiridas já com processo de detecção da quadrícula efetuada.	23
Figura 3-3 - Visualização das posições de tomada de foto para o processo de calibração.....	24
Figura 3-4 - Erro médio obtido em cada imagem usada no processo de calibração	24
Figura 3-5 - Exemplo de imagens adquiridas já com processo de detecção da quadrícula efetuada	25
Figura 3-6 - Visualização das posições de tomada de foto para o processo de calibração.....	26
Figura 3-7 - Erro médio obtido em cada imagem usada no processo de calibração	26
Figura 4-1 - Modelo conceptual.	27
Figura 4-2 - Esquema do processo de aquisição	28
Figura 4-3 - Origem do eixo de coordenadas das nuvens de pontos do sensor Kinect V2 (Matlab 2016)	30
Figura 4-4 - Metodologia aplicada às nuvens de pontos para cada caso de estudo.....	31
Figura 4-5 - Exemplo de uma grelha regular (GDAL 2016).....	32
Figura 4-6 - Esquema do processo M3C2 (Lague et al. 2013).....	33
Figura 4-7 - Exemplo das faces usadas.	34
Figura 4-8 - Ponto médio do plano ajustado.	35
Figura 4-9 - Ponto da nuvem de pontos mais próximo do ponto médio.	36
Figura 4-10 - Vetor normal (Weisstein 2016).....	37
Figura 4-11 - Esquema geométrico do tetrápode cedido pelo LNEC.....	38
Figura 5-1 - Exemplo de um tetrápode.....	39
Figura 5-2 - Esquema da estrutura de ensaio montada cedido pelo LNEC.	40
Figura 5-3 - Esquematização da experiencia realizada.	40
Figura 5-4 - Metodologia inicial do caso de estudo n	41
Figura 5-5 - 1º época de estudo	42
Figura 5-6 - 7º época de estudo	42
Figura 5-7 - Esquema da metodologia utilizada.....	43
Figura 5-8 - Exemplo de uma face selecionada.....	44
Figura 5-9 - Primeiro exemplo (contendo quatro imagens) do movimento selecionado para a determinação do centro geométrico do tetrápode.....	44
Figura 5-10 - O bloco isolado para dar uma melhor perceção do movimento	44
Figura 5-11 - As faces selecionadas para a determinação do centro das mesmas.....	44
Figura 5-12 - Segundo Exemplo do deslocamento de um tetrápode.....	45
Figura 5-13 - As faces selecionadas.....	45
Figura 5-14 - Centro geométrico do tetrápode na posição inicial	46
Figura 5-15 - Centro geométrico do tetrápode na posição final	46
Figura 5-16 - Sobreposição das posições inicial e final do tetrápode com os seus respetivos centros geométricos.	46

Figura 5-17 - Centro geométrico do tetrápode na posição inicial	47
Figura 5-18 - Centro geométrico do tetrápode na posição final	47
Figura 5-19 - Sobreposição das posições inicial e final do tetrápode com os seus respectivos centros geométricos.	47
Figura 6-1 - Esquema da estrutura montada para aquisição dos dados.	50
Figura 6-2 - Leito do Rio Mondego a ser estudado.....	50
Figura 6-3 - Exemplo do ponto de vista do descarregador de cheias e de um jato de água.	51
Figura 6-4 - Metodologia aplicada ao caso de estudo da Barragem Girabolhos.....	52
Figura 6-5 - Resultados das 5 épocas de estudo.	53
Figura 6-6 - Erosão entre a 2º época e a 1º época	54
Figura 6-7 - Erosão entre a 3º época e a 1º época	54
Figura 6-8 - Erosão entre a 3º época e a 2º época	55
Figura 6-9 - Erosão entre a 4º época e a 1º época	55
Figura 6-10 - Erosão entre a 4º época e a 3º época	56
Figura 6-11 - Erosão entre a 5º época e a 1º época	56
Figura 1 - 1º época de estudo	60
Figura 2 - 2º época de estudo	60
Figura 3 - 3º época de estudo	61
Figura 4 - 4º época de estudo	61
Figura 5 - 5º época de estudo	62
Figura 6 - 6º época de estudo	62

Índice de Tabelas

Tabela 2-1 Características dos sensores do Kinect v2 (Pagliari & Pinto 2015)	14
Tabela 3-1 - Resultados obtidos do processo de calibração do sensor IR.....	25
Tabela 3-2- Resultados obtidos do processo de calibração do sensor RGB.....	26
Tabela 4-1 - Principais características do Hardware utilizado	29
Tabela 5-1- Coordenadas dos centros geométricos dos tetrápodes e da sua evolução.	48

Lista de Siglas

- IR – *Infra-Red*
- Kinect V2 – Segunda versão do sensor Kinect
- LIDAR – *Light Detection And Ranging*
- LNEC – Laboratório Nacional Engenharia Civil
- LST – *Laser Scanner* Terreste
- RGB-D – *Red, Green, Blue and depth*
- SDK – *Software development kit*
- VANT – veículos Aéreos Não Tripulados.

1^o - Introdução

1.1 Enquadramento

A proteção de portos situados em zonas costeiras expostas à ação do mar é realizada por quebra-mares. No Laboratório Nacional de Engenharia Civil, é estudado o seu comportamento, contruindo-se, para tal, modelos destas estruturas de hidráulica marítima, e fazendo incidir sobre estas ondulação gerada artificialmente. Este processo visa inferir acerca do impacto que as ondas do mar têm nas estruturas reais de proteção. A análise do comportamento das estruturas de quebra mares desempenha um papel de grande relevância pois permite verificar se a estrutura que está a ser analisada é adequada para as condições marítimas do local. Tal informação é de vital importância para a segurança das infraestruturas marítimas, e de outras zonas costeiras sensíveis.

A presente tese é o resultado de um trabalho com várias etapas exploratórias distintas, realizadas nas duas instituições de acolhimento proponentes: a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL) e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). As tarefas foram ao encontro da forma de uma proposta, cuja visão geral foi a da criação de um sistema de monitorização dos modelos físicos, com o intuito de avaliar os deslocamentos decorrentes do impacto da água sobre os mesmos. O estudo do sensor Kinect V2, como equipamento de aquisição de dados, e o desenvolvimento de uma aplicação preliminar para a determinação de deslocamentos, com base nesses dados, são os principais resultados apresentados nesta tese. O período de trabalho, foi assim dividido em diversas etapas. A primeira etapa, com a duração aproximada de dois meses e realizada na FCUL, foi inteiramente dedicada ao estudo do funcionamento do equipamento Kinect V2, por ser fundamental o devido conhecimento do equipamento proposto para a aquisição dos dados.

Os sensores RGB-D (*Red, Green, Blue and Depth*), que apareceram recentemente no mercado com preços bastante competitivos, oferecem novas possibilidades para a modelação de estruturas em ambientes controlados. Estes sensores permitem adquirir dados da forma de uma superfície em tempo real com a sua informação colorimétrica correspondente (Lachat et al. 2015). O sensor Kinect, sendo um sensor RGB-D, oferece um custo de aquisição reduzido, sendo essa uma das suas grandes vantagens.

Durante este período foram efetuados vários testes ao funcionamento do sensor, de forma a perceber-se qual seria a melhor metodologia para aquisição dos dados produzidos pelo mesmo. Foi ainda efetuada uma calibração dos sensores RGB e IR (*Infra-Red*).

A segunda etapa teve também a duração aproximada de 2 meses e foi realizada no LNEC, tendo consistido sobretudo nas tarefas de estudo e planeamento das experiências de laboratório. Foram abordados os dois casos de estudo a serem desenvolvidos, a determinação dos deslocamentos de blocos de quebra-mares e a erosão do leito do rio, após descargas de um descarregador de cheias de uma barragem.

Foram testadas várias formas de aquisição e de processamento dos dados, de forma a adequar-se a metodologia para cada cenário.

Introdução

Relativamente ao caso de estudo sobre os deslocamentos de blocos na superfície de quebra-mares, nos ensaios são geradas ondas e, periodicamente, são avaliados os efeitos das ondas no modelo. Pretende-se estudar o possível galgamento da estrutura e inferir sobre a progressão de danos, por meio da quantificação dos deslocamentos dos quebra-mares.

No caso de estudo da barragem são geradas descargas pelo descarregador de cheias, verificando se a erosão provocada no leito do rio dá origem a uma barragem “artificial”. Ao limitar a passagem de água, esta barragem provoca o aumento da massa de água sobre as turbinas, pondo em causa o funcionamento das mesmas.

A terceira etapa consistiu no trabalho experimental efetivo. Nesta etapa foram aplicadas as metodologias elaboradas e testadas na segunda etapa. Como se tratavam de casos de estudo distintos a metodologia utilizada em ambos foi também distinta, de forma a poder dar-se uma resposta adequada às questões levantadas durante o processo.

Por fim, a quarta etapa, foi inteiramente dedicada à tarefa de elaboração do presente documento (escrita, organização e impressão).

1.2 Objetivo

No âmbito da realização deste projeto, foi proposto o desenvolvimento de um sistema de **Monitorização dos modelos de quebra-mares com o sensor Microsoft Kinect V2**.

No LNEC, analisa-se o comportamento das estruturas de proteção de portos por intermédio da construção de modelos de forma a estudar o efeito das ondas nos quebra-mares. Durante a fase de testes, são geradas ondas e, periodicamente, são avaliados os efeitos das ondas no modelo. O sistema de aquisição de dados é, assim, um elemento fundamental em todo o processo.

O objetivo desta proposta centra-se na utilização dos dados tridimensionais obtidos pelo sensor Kinect V2. Com estes dados, pretende-se determinar o movimento dos blocos que se encontram na superfície dos quebra-mares, quantificando-se os deslocamentos com base nas coordenadas estimadas do centro dos blocos dos quebra-mares.

A análise dos deslocamentos dos centros dos quebra mares permite estudar a eficiência da estrutura que está a ser estudada, nomeadamente se é o tipo de quebra-mar mais adequado, considerando o cenário em causa.

As técnicas convencionais usadas até ao momento ainda não possibilitaram uma resposta adequada uma vez que não permitem a determinação dos centros dos blocos. Através do Kinect V2, foi possível determinar esses movimentos e analisar os mesmos de forma contínua, sendo uma grande vantagem para o estudo em causa.

Outro caso abordado no decorrer da tese, consistiu no estudo da deformação do leito do rio Mondego após descargas do descarregador de cheias de uma barragem. Nesta situação, o objetivo passa por compreender se a erosão provocada pelas descargas do descarregador de cheias origina uma parede de sedimentos ou uma barragem natural que aumente a geração de massa de água sobre as turbinas, o que poderia colocar em causa a estrutura.

O método disponível no LNEC para monitorização da deformação dos leitos rios - a fotogrametria – é difícil de ser aplicado, uma vez que o modelo tem uma cor muito homogénea, o que torna particularmente difícil para gerar nuvens de pontos.

1.3 Estado de arte

A importância dos sistemas monitorização tem vindo a crescer com a evolução tecnológica e com a possibilidade de aquisição de informação mais precisa e em maior quantidade.

Neste projeto abordamos duas temáticas distintas (determinação de deslocamentos em quebra-mares e determinação da erosão de um leito do rio), sendo que o grande foco deste projeto foi a determinação dos deslocamentos dos centros geométricos dos quebra-mares.

Os quebra-mares tem como função proteger os portos e as infraestruturas portuárias e a monitorização destes sistemas de proteção tem um papel relevante para a sua manutenção. Com aumento de situações climáticas extremas, torna-se ainda mais relevante que estas estruturas de proteção sejam cada vez mais otimizadas e monitorizadas, evitando perda de vidas humanas e prejuízos económicos avultados, uma vez que, os grandes centros urbanos e comerciais a nível mundial situam-se em zonas costeiras, (Becker et al. 2013), (Edwards 2014) e (Zviely et al. 2015).

O uso da tecnologia em prol de uma monitorização cada vez mais eficiente das estruturas portuárias, tem sido bastante diversificado, havendo vários sistemas de aquisição de informação, desde sistemas com uso de tecnologias bastante acessíveis, tais como, câmaras de baixo custo e posteriormente aplicando técnicas fotogramétricas para modelação da estrutura (Gonzalez et al. 2016), bem como o uso veículos aéreos não tripulados (VANT), (Gonzalez et al. 2016).

Estes últimos têm tido uma utilização crescente na aquisição de informação para monitorização de infraestruturas, devido ao seu baixo custo de aquisição da informação, bem como facilidade de aquisição e de acesso aos locais mais inacessíveis.

A utilização de sistemas de aquisição mais complexos como sistemas híbridos, conjugando antenas GPS de dupla frequência com acelerómetros, para a monitorização da infraestrutura portuária, já foi testada e utilizada obtendo resultados de grande exatidão permitindo avaliar a integridade da infraestrutura (Pereira et al. 2015).

No decorrer deste projeto pretende-se implementar um sistema de monitorização para uma estrutura de teste, que está sujeita a ensaios em laboratórios, com a finalidade de testar a eficiência estrutura projetada. De forma a poder-se testar as estruturas de proteção são criados modelos 3D a uma escala reduzida que estão sujeitos à ondulação gerada de forma artificial no laboratório. A importância do sistema de aquisição de dados é fundamental para uma análise correta da infraestrutura e da sua resistência (Piccoli 2014).

Atualmente existem várias possibilidades de aquisição da informação através de técnicas mais convencionais como a fotogrametria ou através de sistemas LIDAR terrestre – ambas as técnicas já têm uma grande implementação no mercado atual.

Introdução

Nos últimos anos, os sensores RGB-D foram fortemente impulsionados pela Microsoft, sendo que com o Kinect proporcionaram novas possibilidades e com uma aplicação mais diversificada e com custos bastante reduzidos. Tem vindo a conquistar o seu espaço no mercado, inclusive em sistemas de monitorização, onde é necessária uma elevada exatidão que existe nos dias de hoje em vários sensores RGB-D (Litomisky 2012).

O sensor da Microsoft Kinect, surgiu como primeiro sensor RGB-D de baixo custo para utilização de forma massiva pelos utilizadores. Devido ao seu potencial e o facto de poder ser aplicado noutras temáticas, começou a haver uma exploração exhaustiva do mesmo.

Aquando da sua criação, o principal mercado para a sua utilização era a indústria de vídeo jogos. Posteriormente, começou a ter uma utilização mais diversificada, como por exemplo: ferramenta de reabilitação pós acidente vascular cerebral (AVC) (Pascual-Leone 2012), para reconhecimento e tradução de linguagem gestual (Chai et al. 2013), como espelho virtual para experimentar roupa (Yolcu et al. 2014), para mapeamento de interiores (Henry et al. 2014), Navegação robótica (Fankhauser et al. 2015). Este sensor apresenta um grande potencial para aquisição de informação em 3D a curtas distâncias, sendo indicado para uso em interiores.

O Kinect teve várias atualizações, sendo que em julho de 2014 foi lançada a segunda versão, o Kinect V2 (versão utilizada no estudo em causa). Esta versão é muito mais robusta, isto é, tem uma fiabilidade de aquisição dos dados muito maior e mais regular devido ao facto de possuir uma nova metodologia para a aquisição de valores de profundidade, que são determinados através do método Time Of Flight, baseado no diferencial de tempo entre a emissão e a receção do sinal. Parte do princípio que a velocidade da luz é constante e determina o tempo que o sinal demora a ser retornado ao sensor (Castaneda & Navab 2011).

Como o Kinect V2 usa fases contínuas, não interrompendo o sinal, a diferença de fase representa o termo calculado para se determinar a distância (Castaneda & Navab 2011). O Kinect V2 tem uma exatidão muito superior à da sua primeira versão.

A exatidão do Kinect V2 varia consoante a distância a medir à superfície ou objecto que nunca deverá ser inferior a 0.5 m e superior a 4 - 4.5 m, sendo que a exactidão dentro destas ordens de grandeza de distâncias deverá ser inferior a 10 mm, (Fankhauser et al., 2015), (Lachat et al. 2015) e (Corti et al. 2016).

No seguimento da exploração das capacidades do Kinect V2 teve-se em consideração o estudo já previamente elaborado (D. Moltisanti¹, G. M. Farinella¹, R. E. Musumeci² 1984).

1.4 Organização do Trabalho

O presente documento encontra-se dividido em seis capítulos. No primeiro capítulo, é apresentado o enquadramento e o estado de arte referentes ao tema da dissertação e respetivo objetivo.

O segundo capítulo apresenta uma introdução teórica sobre o sensor Kinect V2.

No terceiro capítulo, teremos a descrição do processo de calibração do sensor RGB e de IR.

O quarto capítulo consiste na descrição dos dados e da metodologia aplicada para reprodução dos dois casos de estudo.

Os quinto e sexto capítulos consistem na abordagem dos dois casos de estudo efetuados e dos resultados obtidos.

Por fim, no sétimo capítulo são apresentadas as conclusões e as sugestões futuras.

2 ° - Sensor Kinect

2.1 Introdução

O Kinect representa um sensor de deteção de movimentos, criado pela Microsoft como um modo de interação com os vídeos jogos, ultrapassando a barreira da utilização de um controlador para o utilizador interagir com a consola ou mesmo jogar. O Kinect revolucionou a forma de interação entre o utilizador e a consola, uma vez que não tinha qualquer tipo de suporte físico adicional para os jogadores, permitindo controlar a consola XBOX por comandos de voz e jogar pelo simples reconhecimento dos movimentos dos jogadores.

O Kinect foi apresentado pela primeira vez na feira industrial Electronic Entertainment Expo (E3) 2009 nos EUA, tendo sido uma das grandes apostas da Microsoft para revolucionar a indústria dos jogos. A comercialização desta tecnologia teve início em novembro de 2010 (Cai et al. 2016), conquistando uma grande quota do mercado, devido à crescente popularidade nos jogos. Além disso, foi considerado como "fastest selling consumer electronics device" pelo Guinness World Records, em 2011, tendo vendido mais de 8 milhões de unidades nos primeiros 60 dias (Pagliari & Pinto 2015).

Perante o sucesso do sensor da Microsoft, e devido às suas potencialidades e ao facto de ter um custo muito reduzido, várias empresas demonstraram interesse na exploração do sensor para funções distintas para o qual tinha sido criado. Por este motivo, a Microsoft decidiu agir em colaboração com essas mesmas entidades de forma a expandir as funcionalidades e aplicações do seu sensor. A 31 de outubro de 2011, a Microsoft lança uma versão não comercial – “*Kinect for Windows program with release of SDK*”, permitindo às empresas externas à Microsoft começarem a explorar o potencial do Kinect, tendo David Dennis, Gestor do projeto, dito no lançamento: “*There are hundreds of organizations we are working with to help them determine what's possible with the tech*”.

Em apenas 3 meses, a 1 de fevereiro de 2012, é lançada a versão comercial do Kinect para Windows SDK, já tendo um portfólio de 300 companhias em mais de 25 países a desenvolver aplicações para o Kinect, mudando drasticamente o paradigma do sensor, que tinha sido criado para a indústria de vídeo jogos, e estando agora em vários mercados completamente distintos, como a indústria cinematográfica, a saúde, o ensino, entre outras (Pagliari & Pinto 2015).

Tendo a primeira versão sido um sucesso, e estando a ter uma receptividade positiva pelo mercado além do esperado, a Microsoft começou a lançar sucessivas atualizações e a investir cada vez mais no desenvolvimento do seu sensor, tendo por fim apostado em incorporar diretamente na sua nova consola Xbox One o Kinect V2 em 2014, que comparativamente com a versão original sofrera uma evolução muito significativa, permitindo uma maior diversificação deste sensor.

No seguimento do desenvolvimento deste sensor de baixo custo, foi pensado que poderia ser uma alternativa aos métodos convencionais de fotogrametria ou ao laser scan, tendo potencialidades para gerar produtos similares e com informação mais conveniente que as técnicas de aquisição de informação já utilizadas, podendo funcionar como sistema de monitorização de apoio a decisão de obras de engenharia civil.

2.2 Hardware

O Kinect V2 é constituído por uma câmara RGB, um sensor infravermelho com 3 iluminadores de infravermelhos e 4 sensores de deteção de áudio. Contudo, estes últimos não vão ser relevantes para o trabalho a ser desenvolvido, uma vez que o áudio neste caso de estudo não será uma fonte de informação relevante (Butkiewicz 2015), (Clark et al. 2015). Nas figuras 2.1 e 2.2, podemos visualizar o sensor e os seus componentes. Na tabela 2.1, estão descritas as suas principais características de hardware.



Figura 2.1 - Segunda versão do sensor Kinect.

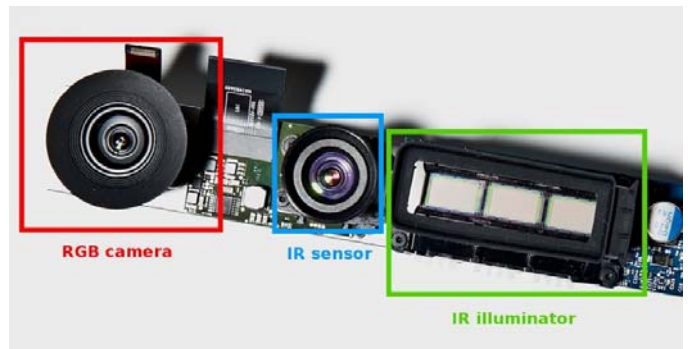


Figura 2.2 - Demonstração dos sensores do Kinect V2 (Gonzalez-Jorge et al. 2015)

Tabela 2.1 Características dos sensores do Kinect v2 (Pagliari & Pinto 2015)

Resolução do sensor IR	512 × 424 píxeis
Resolução do sensor RGB	1920 × 1080 píxeis
Campo de Visão	70 × 60 Graus
Taxa de aquisição (RGD-D)	30 frames por Segundo
Distâncias de aquisição	De 0.5 a 4.5 m
Dimensão do pixel (GSD)	Entre 1.4 mm (0.5 m) a 12 mm (4.5 m)

O Kinect V2 requer a utilização de uma fonte de alimentação própria devido ao elevado consumo energético do mesmo e necessita de uma porta de conexão com o computador de 3.0 USB, dada a própria voltagem da porta e devido à largura de banda de transmissão da porta, uma vez que só o sensor RGB pode chegar a gerar 100 MB/s de informação.

Requisitos recomendados para a utilização do Kinect V2, são:

- 4 GB Memória RAM
- Processador 17 3.1 GHz
- Porta 3.0 USB.
- Placas gráficas iguais ou superiores:
 - Intel HD 4400 integrated display adapter
 - ATI Radeon HD 5400 series
 - NVidia Quadro 600

2.3 Software

A Microsoft disponibiliza, de forma gratuita, o Software development kit (SDK) 2.0 que contém várias ferramentas, desde a configuração do Kinect V2 à própria gravação adquiridos através do **Kinect Studio v2.0** (Pagliari & Pinto 2015).

Estas ferramentas proporcionam vários exemplos de código e de executáveis para que os utilizadores consigam desenvolver conteúdos de aplicações para o Kinect da forma mais rápida e eficaz. As mesmas foram bastante úteis para a familiarização da mecânica de funcionamento do Kinect V2.

Posteriormente, adotou-se uma abordagem diferente, uma vez que, a lógica de funcionamento do sensor baseia-se num funcionamento em *Stream*, ou seja, recebe a informação e guarda a mesma em *buffers*, descarregando esses mesmos *buffers* no processo de visualização, não armazenando os dados. Para os casos de estudo em causa, torna-se fulcral conseguir armazenar a informação para, posteriormente, serem criadas rotinas de análise dos dados. Deste modo, foi desenvolvido um algoritmo de aquisição da informação gerada pelo Kinect V2, onde os dados são adquiridos em simultâneo, mas gravados de forma distinta. Inicialmente, ficam na sua forma “raw” e posteriormente são manipulados, sendo gerados os produtos finais: imagem RGB e nuvens de pontos.

Este fator constitui uma grande vantagem, uma vez que permite obter a informação em formatos conhecidos, possibilitando a sua manipulação e o desenvolvimento de novos produtos.

2.4 Funcionamento do Kinect

O Kinect V2 utiliza o método *Time of flight* que se baseia no diferencial de tempo entre a emissão e a receção do sinal, partindo do princípio que a velocidade da luz é constante e determina o tempo que o sinal demora a ser retornado ao sensor (Castaneda & Navab 2011).

Conforme exemplificado na figura 2.3, o Kinect V2 utiliza fases contínuas, não interrompendo o sinal, a diferença de fase representa o termo calculado para se determinar a distância (Castaneda & Navab 2011).

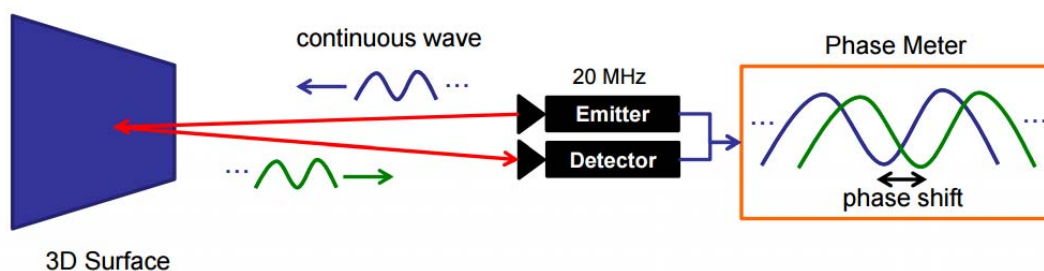


Figura 2.3 - Esquematização do funcionamento do Kinect V2 (Castaneda & Navab 2011)

Sensor Kinect

De modo a determinar a diferença de fase é necessário produzir uma correlação entre ambas as fases, que é estabelecida a partir do sinal sinusoidal (g):

$$g(t) = \cos(wt) \quad (2.1)$$

sendo,

w - frequência modelada;

t - Tempo.

A receção do sinal depois de ser refletido da superfície (s):

$$s(t) = b + a * \cos(wt + \phi) \quad (2.2)$$

sendo,

b - Constante de translação do sinal

a - Amplitude

ϕ - Diferença de fase

A correlação de ambos os sinais é dada por (c):

$$c(\tau) = s * g = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) * g(t + \tau) dt \quad (2.3)$$

sendo,

τ -Desvio

A distância é determinada por (d):

$$d = \frac{c}{4\pi w} \phi \quad (2.4)$$

O Kinect V2 cria uma superfície 2.5D, isto é de forma a dar uma perceção tridimensional atribui a cada píxel (x,y) um valor de profundidade, dando uma perspetiva tridimensional numa superfície 2D, trata-se de uma simplificação de uma superfície 3D (x,y,z).

A Figura 2.4 exemplifica o referencial de coordenadas do Kinect.

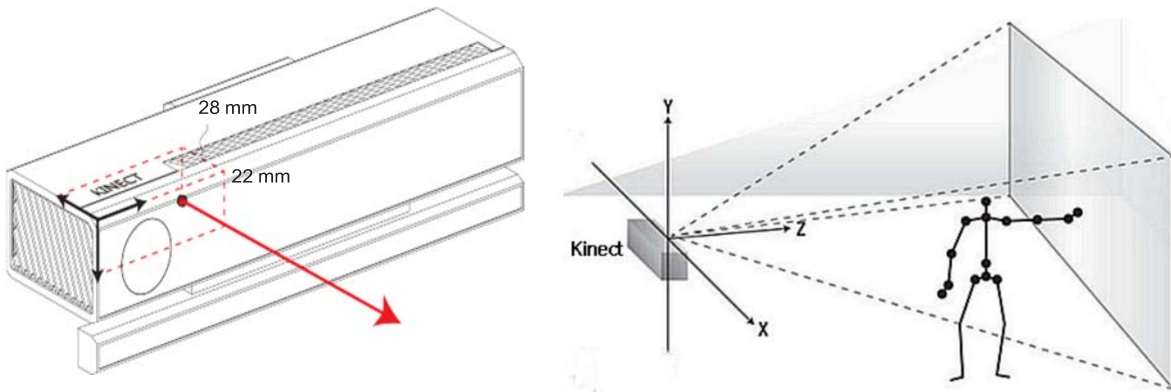


Figura 2.4 - Representação do eixo de coordenadas, (Fankhauser et al. 2015)

Partindo dos dados da imagem de profundidade e dos dados da imagem RGB, é gerada uma superfície voxel (representação de uma grelha regular tridimensional) que é criada a partir da informação (x,y) mais os valores de profundidade do modelo geométrico do Kinect V2.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \frac{1}{c_1 d + c_0} dis^{-1} \left(K^{-1} \begin{bmatrix} x + u_0 \\ y + v_0 \\ 1 \end{bmatrix}, k \right) \quad (2.5)$$

sendo,

d - Valor de profundidade ao longo do eixo z ;

c_1 e c_0 - Parâmetros do modelo;

v_0 e u_0 - Parâmetros modulados a partir das imagens IR e profundidade;

k - Parâmetro de distorção da câmara Kinect IR;

K - Matriz de calibração da câmara IR.

2.5 Exatidão do Kinect v2

Neste subcapítulo, será abordado a exatidão do sensor do Kinect V2, bem como os fatores que afetam essa mesma exatidão e a consistência dos dados.

Tendo como objetivo criar um sistema de monitorização, é necessário ter um bom conhecimento sobre a exatidão do sensor bem como das limitações e restrições do sensor que possam afetar a exatidão do mesmo.

Foi então efectuado um estudo bibliográfico onde se pode concluir, após os vários artigos, que a exatidão do Kinect V2 varia consoante a distância a medir à superfície ou objecto que nunca deverá ser inferior a 0.5 m e superior a 4 - 4.5 m, dentro deste intervalo a exatidão deverá ser inferior a 10 mm, (Fankhauser et al., 2015), (Lachat et al. 2015) e (Corti et al. 2016).

Na figura 2.5, está representado o desvio padrão de um conjunto de aquisições efectuadas pelo Kinect V2 de cada pixel a uma distância de 1.250 m de uma parede plana, onde se pode verificar que o desvio padrão aumenta com a proximidade dos cantos, onde existe um maior ruído, devido ao efeito luminosidade (Corti et al. 2016).

Sensor Kinect

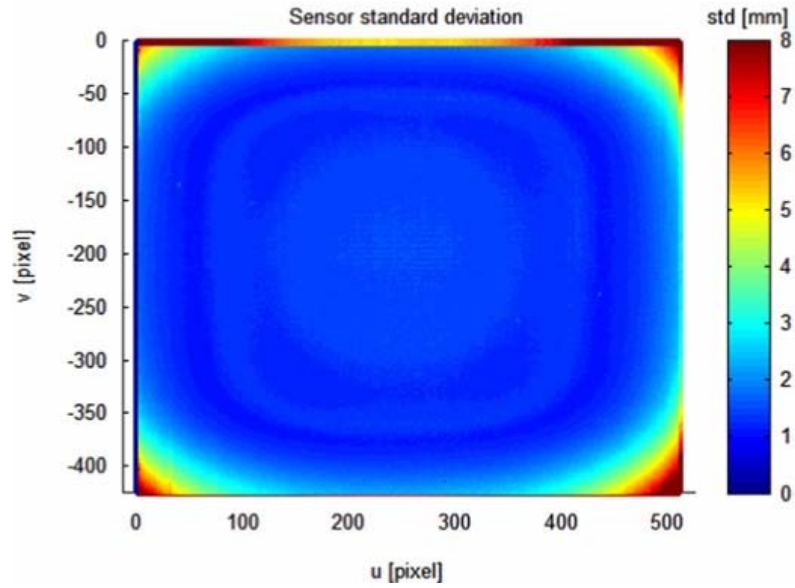


Figura 2.5 - Representação do ruído na imagem de profundidade. (Corti et al. 2016)

Outra questão verificada foi a influência do ângulo de incidência na exatidão. Verificou-se que quanto maior for o ângulo, menor é a quantidade de luz por unidade de área retornada pelo alvo. Consequentemente, o desvio padrão das distâncias obtidas aumentaria com o ângulo de incidência. (Corti et al. 2016). Na figura 2.6, podemos visualizar essa relação.

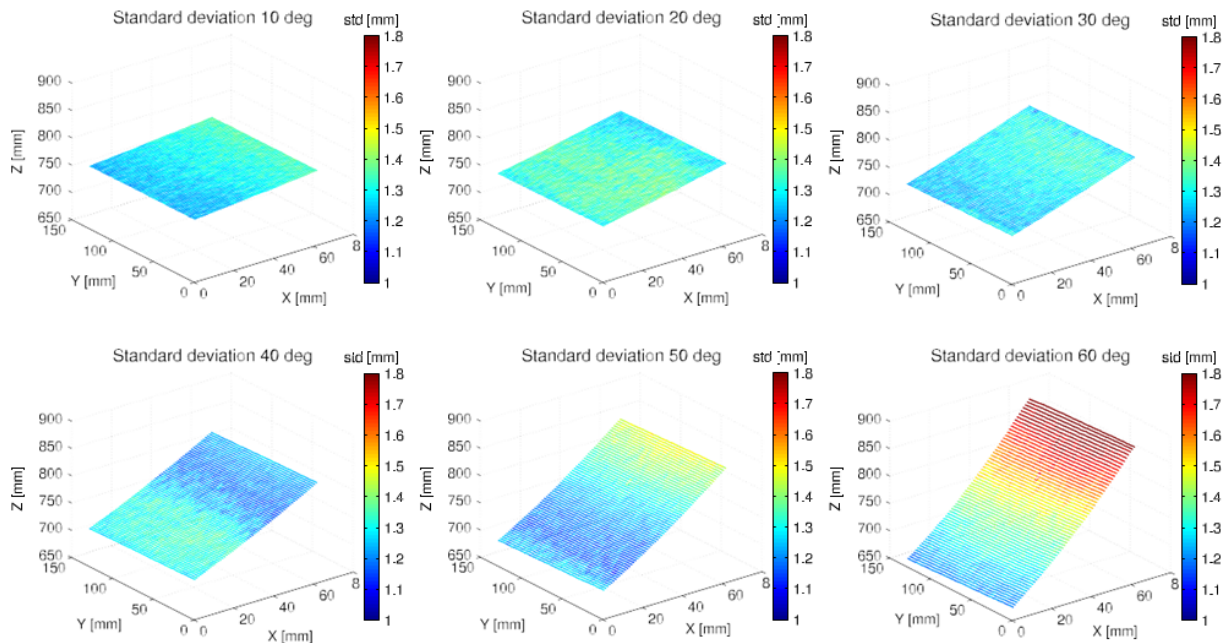


Figura 2.6 - Representação dos ruídos com vários ângulos de incidência sobre a superfície (Corti et al., 2016).

No estudo de (Fankhauser et al. 2015) foram comparadas as distâncias reais e as distâncias obtidas pelo sensor de profundidade do Kinect V2. A figura 2.7 demonstra os resultados obtidos, sendo a maior das diferenças de 6 mm.

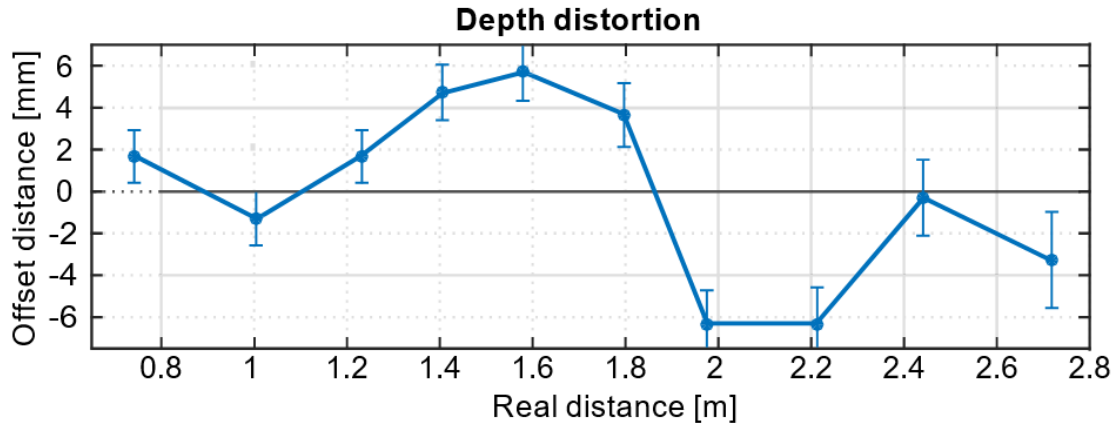


Figura 2.7 - Representação da exatidão do Kinect V2 ao longo de várias distâncias (Fankhauser et al. 2015).

Existem muitos outros fatores que podem condicionar a exatidão do Kinect V2, como a luminosidade exterior (radiação solar) que, se for intensa, pode provocar bastante ruído. Existe igualmente a questão das superfícies refletoras que podem gerar alguns valores fora de contexto nas imagens de profundidade, todavia, estes fenómenos não foram relevantes nos casos de estudo, uma vez que os ensaios foram realizados em ambientes controlados.

De forma a minimizar o ruído na aquisição da informação, foram considerados os aspetos já aqui abordados, centralizando a superfície de estudo em relação ao sensor, de modo a minimizar o efeito da luminosidade. Além disso, foi tido em consideração, igualmente, o ângulo de incidência (posicionando, sempre que possível, o eixo focal na perpendicular à área de estudo) e as distâncias às quais se iriam efetuar os ensaios dentro do intervalo 0.5-4.5 m.

3^o - Calibração

3.1 Aquisição

Neste capítulo, iremos explicar o processo de calibração dos sensores RGB e IR, tendo sido usado um processo idêntico ao do artigo de (Lachat et al. 2015). Neste sentido, foram tiradas fotos de diferentes posições e distâncias a uma quadrícula de Xadrez com a dimensão de cada lado dos quadrados de 27 mm. A importância desta dimensão é fulcral, de forma a se conseguir efetuar os cálculos para a calibração dos sensores. Na calibração dos sensores foi usada a seguinte metodologia (figura 3.1).

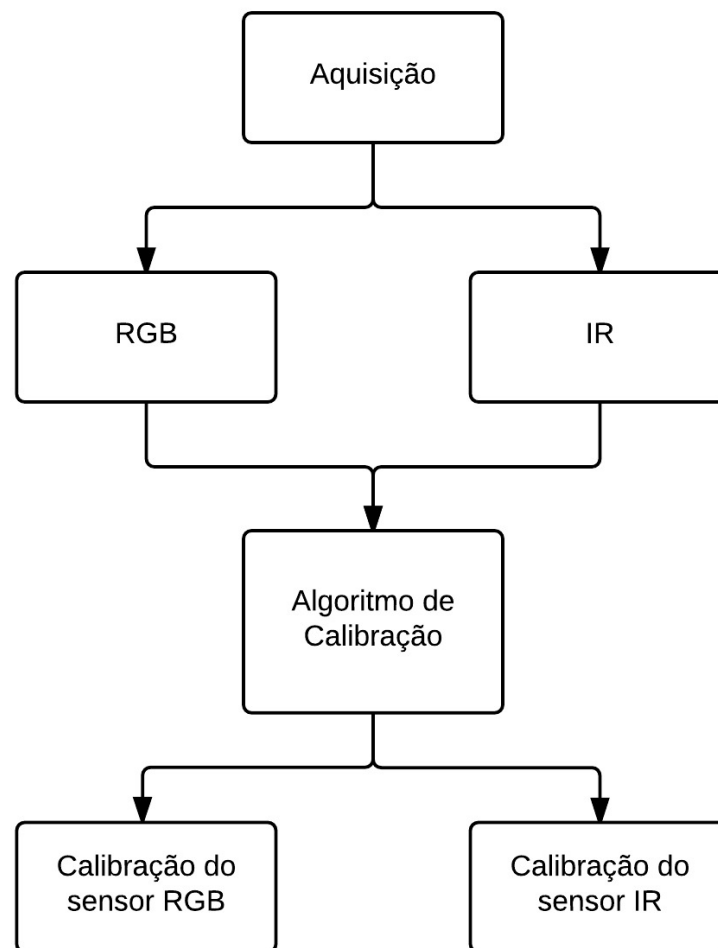


Figura 3.1 - Metodologia de calibração do sensor KV2.

3.2 Calibração dos sensores RGB e IR

O processo de calibração começa por definir um conjunto de parâmetros iniciais e de configurações padrão, através do qual faz a calibração. Posteriormente, é possível avaliarmos os resultados obtidos e aprimorar os mesmos. Deste modo, podem ser removidas fotografias da calibração inicial ou ajustando as configurações iniciais, procedendo de seguida a uma nova calibração.

O algoritmo assume que é uma câmara *pinhole* (uma máquina fotográfica sem lente).

$$w[x \ y \ 1] = [X \ Y \ Z] * \begin{bmatrix} R \\ t \end{bmatrix} * K \quad (3.1)$$

sendo,

(X, Y, Z) - Coordenadas 3D;

(x, y) - Coordenadas imagens em pixéis;

w - Valor arbitrário de fator de escala;

K - Matriz dos parâmetros intrínsecos da câmara;

R - Matriz de rotação 3-D da câmara;

t - Translação da câmara.

$$K = \begin{bmatrix} fx & 0 & 0 \\ s & fy & 0 \\ cx & cy & 1 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

sendo,

cx e cy - representam o ponto principal (é interseção entre a projeção ortogonal do eixo focal da câmara e o plano fotográfico) em pixeis.

Quando os eixos do x e y são exatamente perpendiculares o parâmetro inclinação (s) é igual a 0

$$fx = F * sx \quad (3.3)$$

$$fy = F * sy \quad (3.4)$$

sendo,

F - é distância focal é expressa em milímetros

sx e sy - números de pixéis nos respetivos eixos X e Y

O algoritmo estima os valores dos parâmetros intrínsecos e extrínsecos e determina ainda os coeficientes de distorção.

Num primeiro passo, determina os parâmetros intrínsecos e extrínsecos assumindo que as distorções da lente são iguais a zero.

Posteriormente, determina todos os parâmetros em simultâneo, incluindo os coeficientes das distorções, usando o método mínimos quadrados não linear, sendo os parâmetros intrínsecos e extrínsecos, determinados no passo anterior, usados como estimativa inicial dos mesmos.

Calibração

3.2.1 - Sensor IR

Para a calibração do sensor e de forma a determinarem-se os parâmetros do mesmo, foram tiradas 19 fotografias.

A figura 3.2 apresenta um exemplo das imagens utilizadas. Na Figura 3.3, temos uma visualização das posições tomadas para as fotografias IR. Na Figura 3.4, temos a representação dos erros médios determinados para cada imagem.

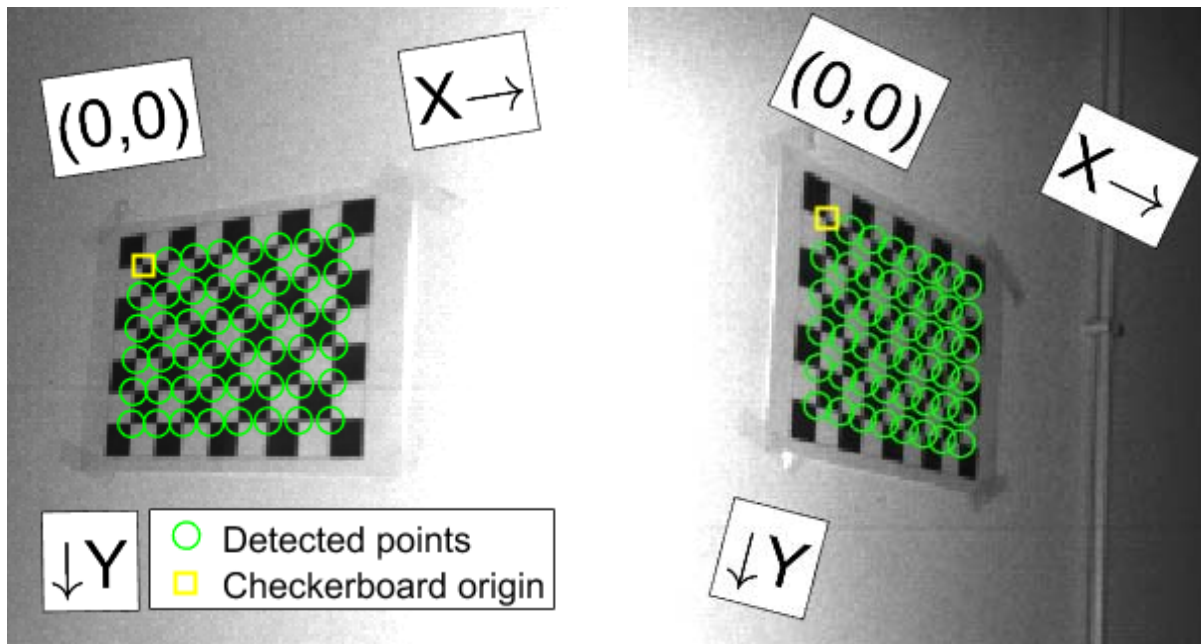


Figura 3.2 - Exemplo de imagens adquiridas já com processo de detecção da quadricula efetuada.

Calibração

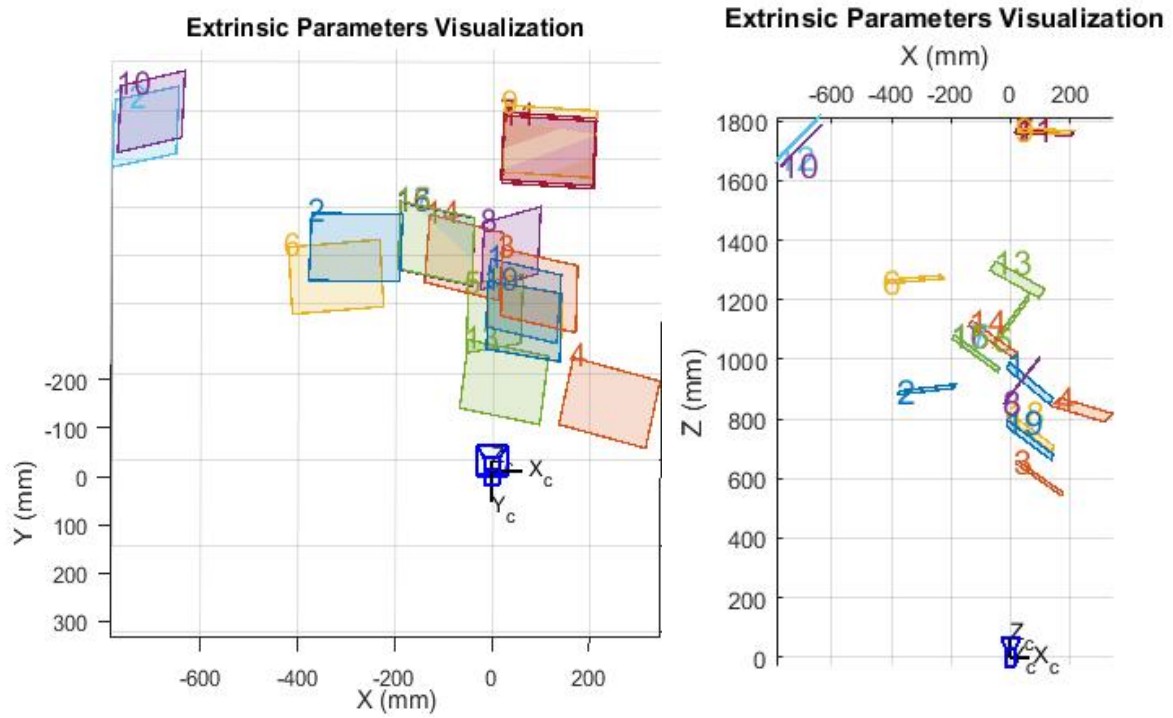


Figura 3.3 - Visualização das posições de tomada de foto para o processo de calibração.

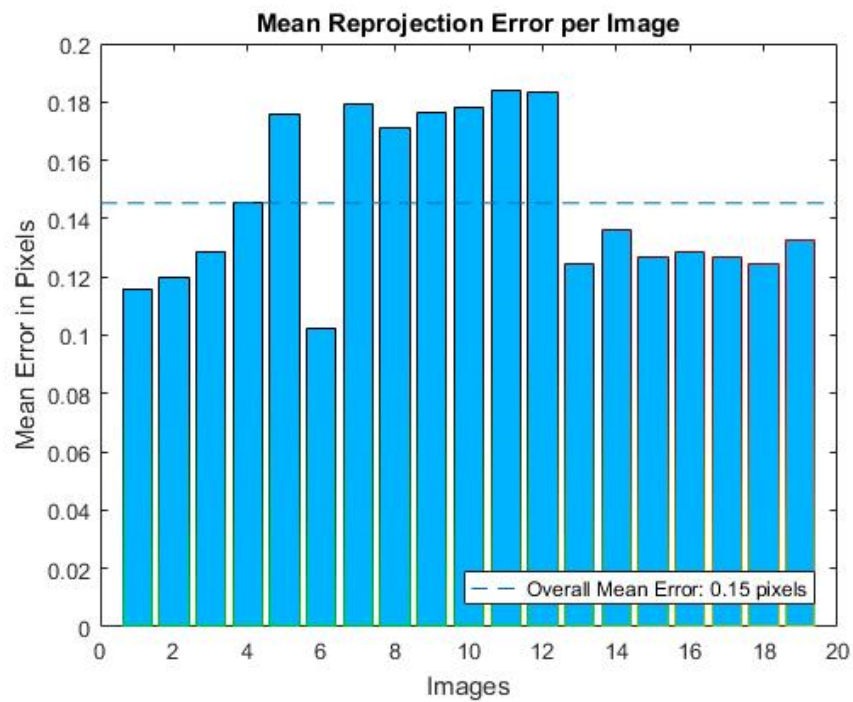


Figura 3.4 - Erro médio obtido em cada imagem usada no processo de calibração

Calibração

Foram então determinados o ponto principal, a distorção radial, a distorção tangencial e o comprimento focal (tabela 3.1).

Tabela 3-1 - Resultados obtidos do processo de calibração do sensor IR

Distância focal	[372.2305 +/- 2.5568; 373.0221 +/- 2.4302] mm
Ponto principal	[264.1056 +/- 2.3376; 206.2459 +/- 2.1240]
Distorção radial	[0.1110 +/- 0.0194; -0.3676 +/- 0.1298; 0.1803 +/- 0.2885]
Distorção tangencial	[-0.0025 +/- 0.0017; 0.0051 +/- 0.0017]

3.2.2 - Sensor RGB

No sensor RGB foi repetido o mesmo procedimento, onde foram tiradas 17 fotografias para a calibração do sensor. Na Figura 3.5., podemos visualizar um exemplo de duas imagens utilizadas. Na Figura 3.6, temos uma visualização das posições tomadas para as fotografias IR. Na Figura 3.7, temos a representação dos erros médios determinados para cada imagem.

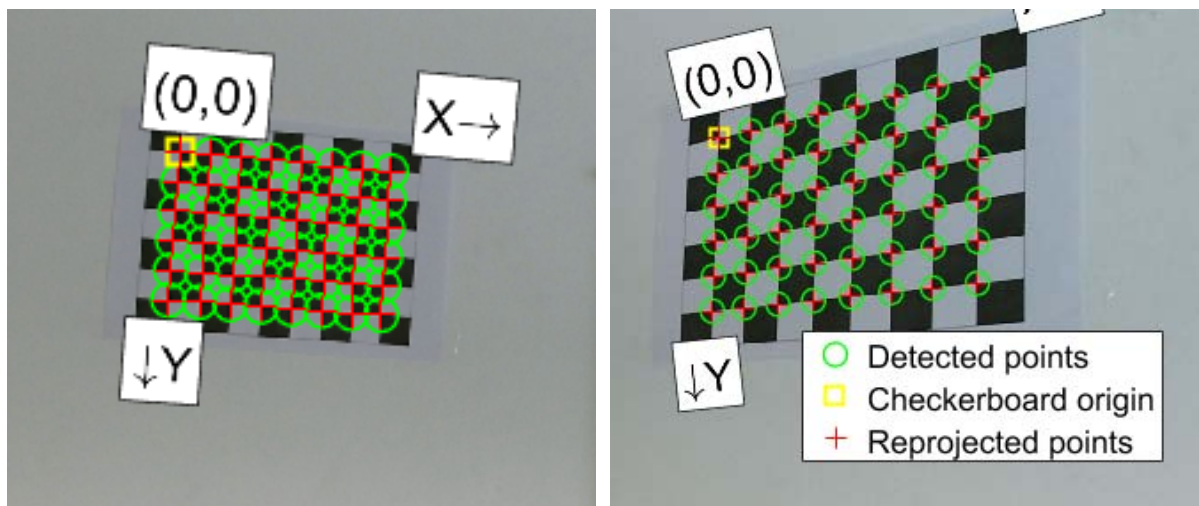


Figura 3.5 - Exemplo de imagens adquiridas já com processo de detecção da quadricula efetuada

Calibração

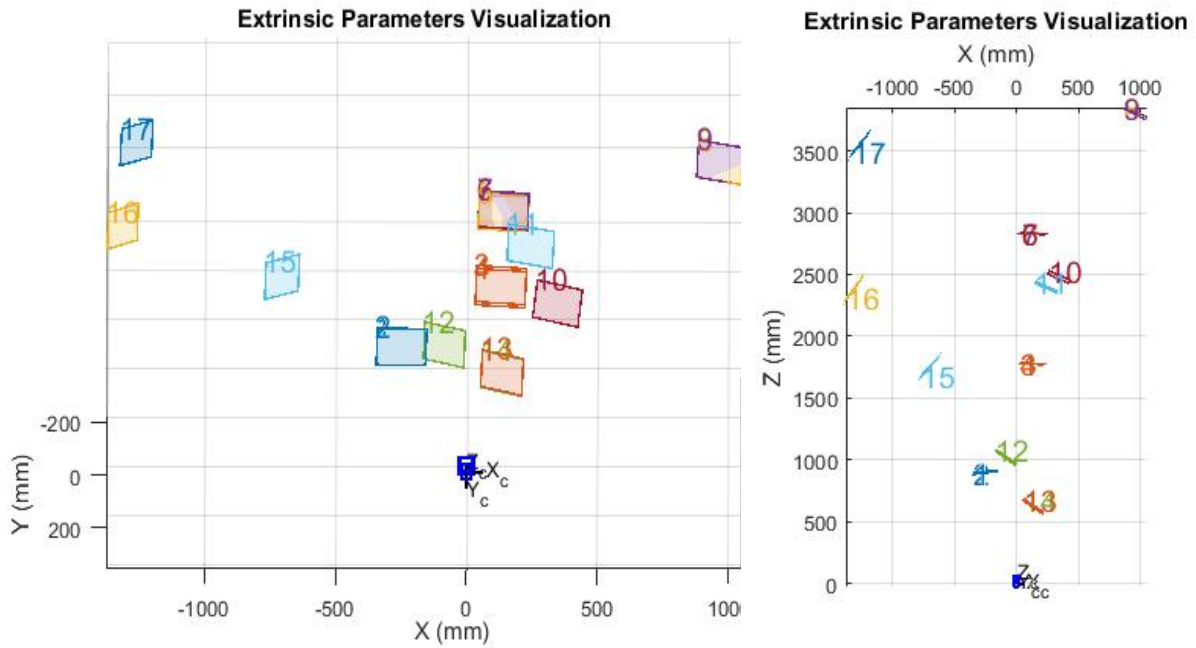


Figura 3.6 - Visualização das posições de tomada de foto para o processo de calibração.

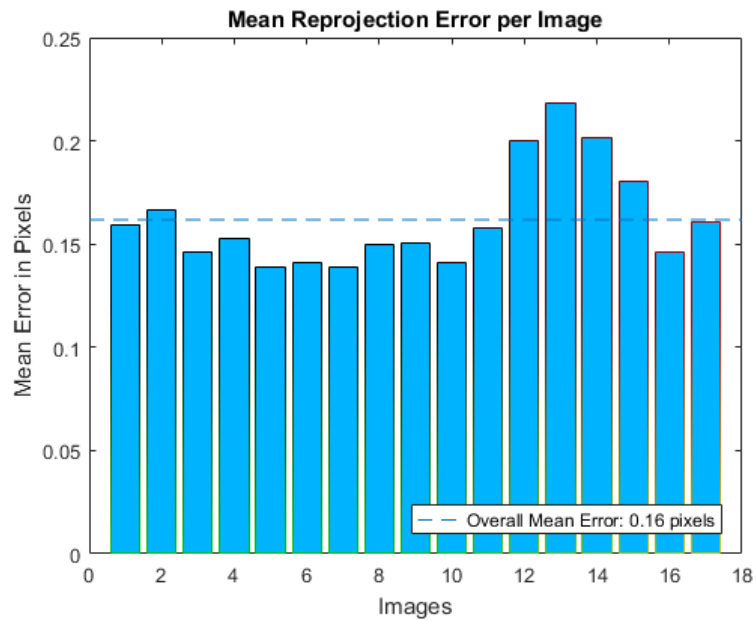


Figura 3.7 - Erro médio obtido em cada imagem usada no processo de calibração

Foram então determinados o ponto principal, a distorção radial, a distorção tangencial e o comprimento focal (tabela 3.2).

Tabela 3-2- Resultados obtidos do processo de calibração do sensor RGB

Distância focal	[1069.8776 +/- 8.5102; 1067.4792 +/- 8.6016]
Ponto principal	[1013.1634 +/- 7.1758; 511.8417 +/- 3.9101]
Distorção radial	[0.0348 +/- 0.0097; 0.1082 +/- 0.0395; -0.2782 +/- 0.0671]

4^o - Metodologia

4.1 Modelo conceptual

Neste subcapítulo, iremos demonstrar o modelo conceptual do projeto (Figura 4.1) que se encontra dividido em 3 grandes áreas: Aquisição dos dados, processamento de imagem e processamento das nuvens de pontos.

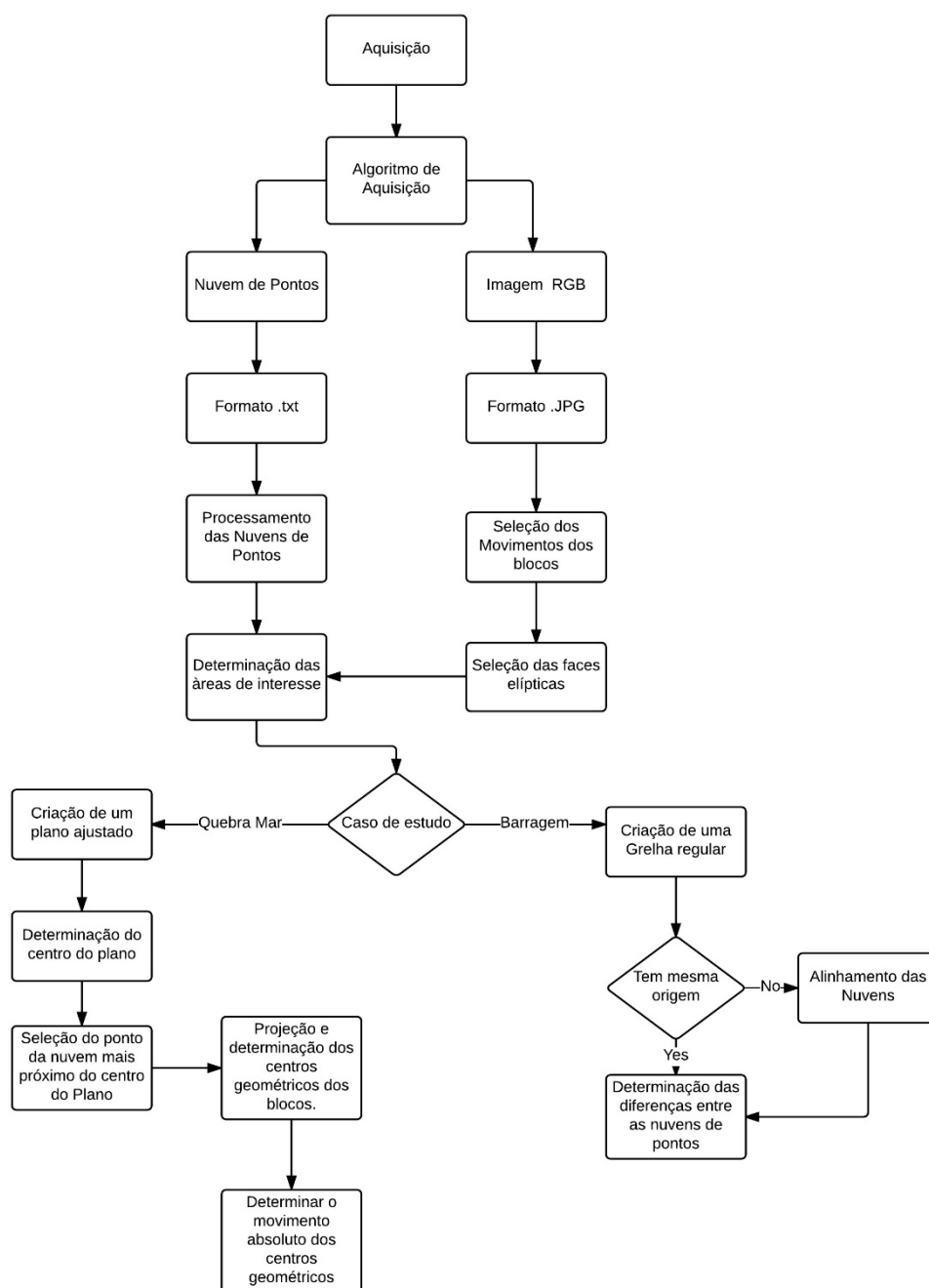


Figura 4.1 - Modelo conceptual.

4.2 Aquisição dos dados

4.2.1 - Introdução

A criação de uma metodologia para a aquisição dos dados, que fosse adequada para os casos de estudo, representou umas das etapas mais exigentes e importantes do projeto.

Neste projeto foram desenvolvidos algoritmos para a aquisição e para o processamento dos dados em Matlab. O próprio software já disponibiliza uma aplicação para aquisição dos dados, contudo, este tem algumas limitações como, por exemplo, não haver controle na taxa de aquisição, não gravar nuvens de pontos diretamente, mas sim imagens que reproduzem os valores de profundidade gerados pelo Kinect substituindo os valores de RGB pelo valor de profundidade, entre outras restrições.

Por estes motivos, foi criado um algoritmo de aquisição dos dados que satisfizesse as necessidades dos casos de estudo em questão, utilizando a biblioteca de funções da *Computer Vision* e do próprio Kinect V2, disponibilizada pela Microsoft. Na Figura 4.2 podemos visualizar uma esquematização do processo de aquisição dos dados e da criação de produtos finais (nuvens de pontos e imagens RGB).

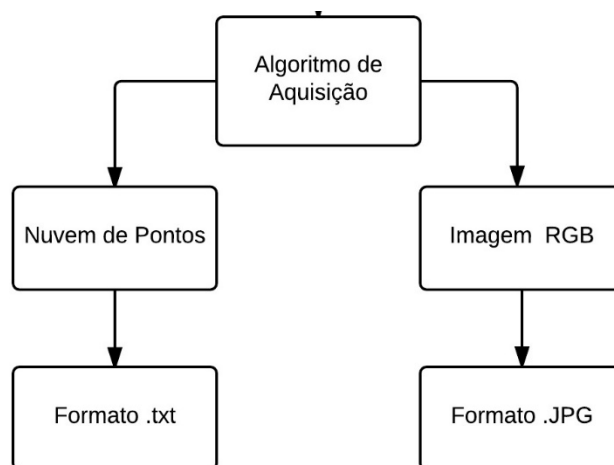


Figura 4.2 - Esquema do processo de aquisição

4.2.2 - Conceitos para aquisição dos dados

Para se criar e estruturar um algoritmo de aquisição tem de haver uma boa compreensão da estrutura dos dados. Por isso, houve necessidade de um estudo demorado e exaustivo para a familiarização do sensor e da sua estrutura dos dados.

Inicialmente, tem de se declarar ou iniciar os sensores em causa, de modo a reservar memória para os mesmos. Para dar início a este processo, torna-se necessário introduzir as duas linhas de código seguintes, em que a posição número 1 é referente ao sensor RGB e a posição número 2 ao sensor IR.

```
colorDevice = imaq.VideoDevice('kinect',1);  
depthDevice = imaq.VideoDevice('kinect',2);
```

Posto isto, pode-se iniciar o processo de aquisição. É necessário fazer uma ressalva. Como já referido: o Kinect V2 tem uma taxa de aquisição de 30Hz, em condições normais, mas a mesma pode variar dependendo de condições de luminosidade.

Metodologia

A taxa de aquisição, neste caso de estudo está bastante restringida à capacidade de processamento do computador para gravar os dados. O Kinect V2 trabalha na sua utilização normal em “streaming” (significa que não grava a informação que está a ser adquirida no disco rígido). No entanto para esta aplicação é fundamental a gravação de dados mas, devido às limitações do hardware disponível, os 30 Hz de taxa de aquisição não são exequíveis, tendo sido unicamente possível uma taxa de aquisição de 1 Hz.

Tabela 4.1 - Principais características do Hardware utilizado

Processador: Intel(R) Core(TM) i7-4610M CPU @ 3.00GHz,
Memória RAM: 8,00 GB
Placa gráfica: Intel(R) HD Graphics 4600
Partição do disco: SSD 32G

Com estas características, e de forma a poder-se guardar os dados adquiridos, a melhor taxa de aquisição obtida foi cerca de 1 Hz e, mesmo esta, sofre algumas flutuações. No entanto, constitui uma situação que poderá vir a ser desenvolvida e aperfeiçoada no futuro.

Para iniciarmos o processo de aquisição, temos as seguintes linhas de código:

```
step(colorDevice);
```

Para recebe uma matriz 3D com os valores RGB – o que neste caso representa uma imagem “espelhada” da realidade, uma vez que o Kinect V2 foi criado e desenhado para a indústria dos vídeo jogos, de forma a promover uma interação melhor com utilizador.

```
step(depthDevice);
```

Como já foi referido anteriormente, a resolução do sensor RGB é de 1920 x 1080 píxeis e a do sensor IR de 512 x 424 píxeis. Este último, origina uma imagem de profundidade e a partir dessa imagem é gerada a nuvem de pontos. A partir da matriz 3D da imagem de profundidade, temos as posições pixel (x,y) e em cada píxel temos um valor de coordenada world em XYZ.

```
ptCloud = pcfromkinect(depthDevice,depthImage,colorImage);
```

A função “*pcfromkinect*”, que é disponibilizada pela Microsoft, permite efetuar vários procedimentos de uma só vez. Primeiramente, corrige o facto das imagens e as nuvens estarem espelhadas e depois permite a translação da nuvem de pontos para o eixo focal da imagem RGB. De referir, que esta translação é feita de forma automática e através de parâmetros que não são divulgados pela Microsoft.

Metodologia

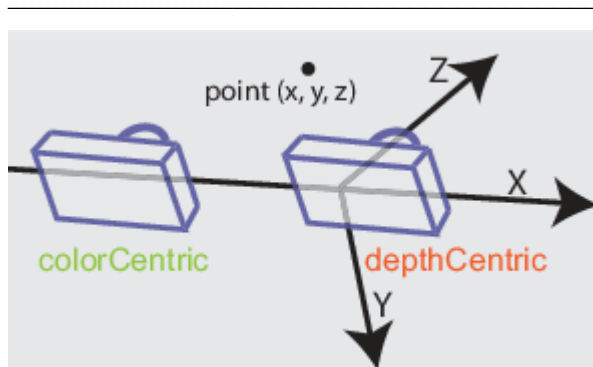


Figura 4.3 - Origem do eixo de coordenadas das nuvens de pontos do sensor Kinect V2 (Matlab 2016)

Além disso, este software não se limita a fazer uma translação, como também a compatibilização da resolução das nuvens de pontos, uma vez que a nuvem de pontos originada tem a mesma resolução que a de RGB 1920 x 1080 pixels, em vez dos 512 x 424 pixels originais, fazendo uma correspondência direta entre o valor RGB do pixel com o valor de coordenadas tridimensionais.

Por fim, tem de se “desligar os sensores”, de modo a libertar a memória virtual que continua reservada e ocupada por estes, não sendo possível iniciar novamente os sensores sem, previamente, dar o término dos mesmos. Além disso, caso quiséssemos voltar a inicializar os sensores, o mesmo não irá ser possível, porque já estão inicializados. Para tal, utilizam-se os seguintes:

```
release(colorDevice);  
release(depthDevice);
```

4.3 Processamento de nuvens de pontos

Neste subcapítulo, iremos abordar os vários processos aplicados ao tratamento das nuvens de pontos criadas a partir do Kinect V2. Na Figura 4.5, apresenta-se uma esquematização dos processos desenvolvidos. Como foi referido, o objetivo final do trabalho é a deteção de alterações da superfície de modelos (quebra-mares e vale de um rio a jusante de uma barragem). Para tal foram aplicados dois procedimentos distintos: i) determinação de distâncias entre nuvens de pontos, método utilizado nos dois modelos; ii) determinação do centro geométrico dos blocos, aplicado só ao quebra-mar.

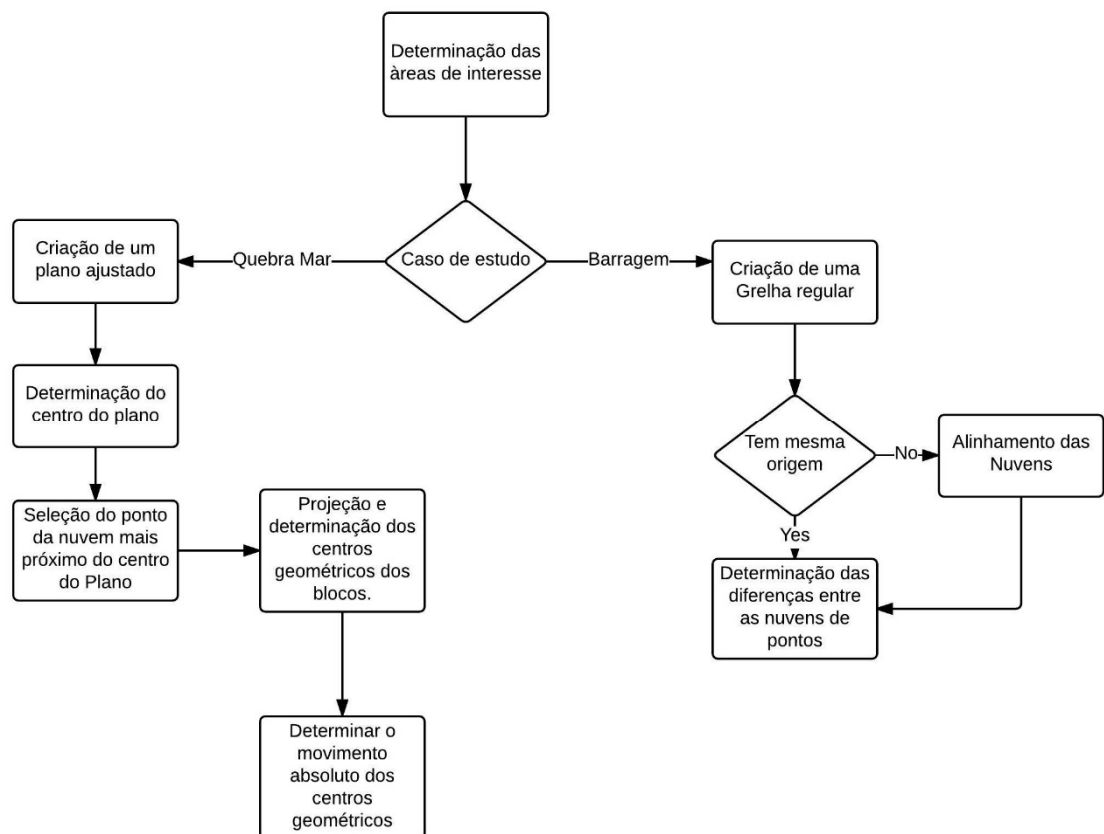


Figura 4.4 - Metodologia aplicada às nuvens de pontos para cada caso de estudo.

4.3.1 - Criação Nuvem regular

Através do software Matlab, foram geradas nuvens de pontos de pontos regulares para que se possa estabelecer uma comparação direta entre as nuvens de pontos das diferentes épocas de estudo no caso de estudo da barragem.

O facto de termos nuvens e pontos regulares cria uma grande vantagem para a comparação da deformação das nuvens de pontos uma vez que se estabelece uma comparação direta entre as épocas de estudo.

Para tal as coordenadas em X e Y variam de forma constante com um espaçamento previamente estabelecido, formando uma grelha de coordenadas regular. A coordenada Z é calculada por interpolação. Na Figura 4.6, temos um exemplo de uma grelha regular.

Metodologia

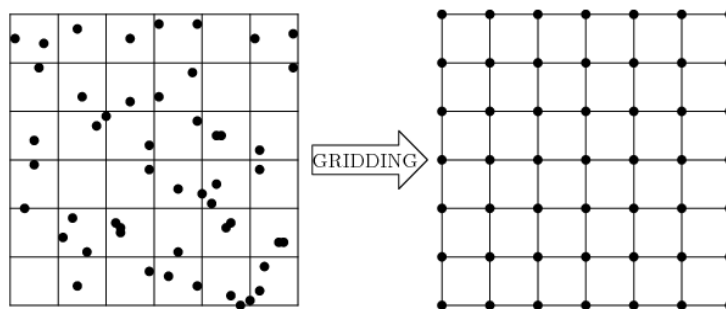


Figura 4.5 - Exemplo de uma grelha regular (GDAL 2016).

Para calcular os valores de Z foi utilizado o método de interpolação cúbica, que considera um kernel de 4×4 píxeis para determinar o valor de Z. A utilização deste método prende-se com o facto de se ter de interpolar os valores de RGB (valores da imagem obtida pela radiação espectro da luz visível), uma vez que o método de interpolação cúbica obtém uma imagem reamostrada mais “suave” e com melhor resolução.

4.3.2 - Filtragem dos dados

Existe a necessidade de se efetuar uma filtragem dos dados devido ao facto de área capturada pelo Kinect V2 abranger uma área maior do que a de estudo pelo que é necessário restringir os dados a esta área. Além disso muitas das superfícies envolventes (incluindo a água) pode refletir a radiação emitida pelo sensor criando ruído, ruído este que tem de ser filtrado e eliminado de forma a não comprometer o processamento e análise da área de estudo.

Assim, foi efetuada uma filtragem dos dados em dois passos distintos:

- Primeiramente foi restringida a área de interesse a estudar-se desprezando os restantes dados.
- Posteriormente, ainda foi aplicado um algoritmo de filtração dos dados S.O.R. (*sparse outlier removal filter*). Este algoritmo consiste num cálculo das distâncias de cada ponto para todos os seus vizinhos, assumindo que a distribuição resultante é uma distribuição Gaussiana. Todos os pontos que tenham uma distância média e um desvio padrão fora dos limites estabelecidos são eliminados (Girardeau-Montaut, 2015).

4.3.3 - Detecção de diferenças entre épocas

4.3.3.1 Determinação de distâncias entre nuvens de pontos

Depois de criadas as nuvens de pontos em épocas distintas foram efetuadas comparações entre pares de nuvens afim de detetar alterações das superfícies, para tal foi sempre usada a época de estudo mais antiga como referencia. Estas alterações foram detetadas a partir da determinação de distâncias entre duas nuvens. Para a determinação destas distâncias foi usado o *plugin M3C2* do *software CloudCompare* que usa a seguinte metodologia:

- Primeiramente, são determinados os vetores normais para o ponto central de uma área circular determinada pelo raio ($d/2$), isto é processo iterativo sendo determinados vários pontos centrais ao longo da nuvem de pontos;

- Define-se um cilindro com um raio de $d/2$, cujo eixo passa por i (ponto central) e o qual está orientado ao longo do vetor normal (Lague et al., 2013). Na Figura 4.5, podemos estudar o esquema do processo M3C2;
- A intersecção de cada nuvem com o cilindro define dois subconjuntos de pontos de tamanho $N1$ e $N2$, respetivamente. Cada um dos subconjuntos é projetado sobre o eixo do cilindro obtendo-se assim duas distribuições de distâncias (com origem em i);
- A distância entre as nuvens em I_i , determinada pelo M3C2, é dada pela distância entre $I1$ e $I2$ – Figura 4.7.

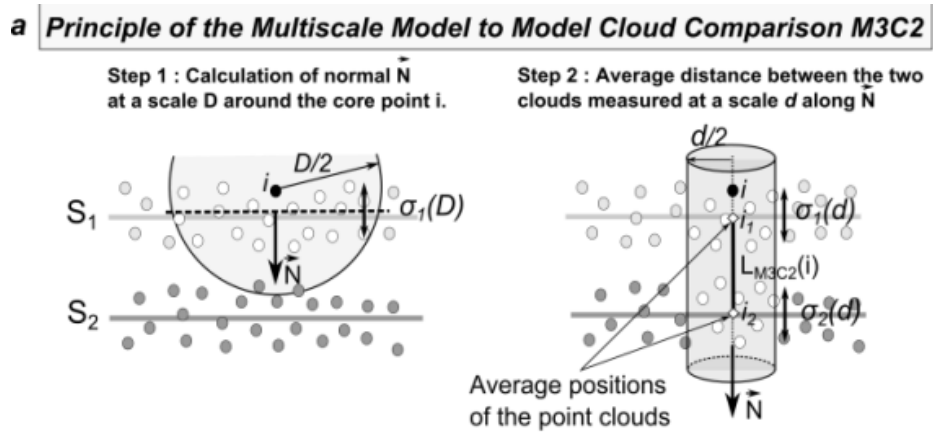


Figura 4.6 - Esquema do processo M3C2 (Lague et al. 2013)

4.3.3.2 Determinação das posições dos blocos

Para determinar os deslocamentos dos tetrápodes é suficiente determinar a posição dos seus centros não sendo necessário calcular a orientação das “pernas” destes blocos. A determinação de cada centro, designado por centro geométrico de cada bloco, foi realizada a partir dos topos dos sólidos. Com efeito, e porque a dimensão dos blocos é conhecida, as coordenadas do centro geométrico podem ser determinadas a partir do ponto central de qualquer um dos topos, desde que conhecida a direção da normal ao topo. A primeira etapa é assim a determinação do plano (chamado plano ajustado) que contem o topo mais visível do tetrápode.

4.3.4 - Criação de um plano ajustado

Como foi referido, este passo teve extrema relevância para determinar os centros geométricos dos tetrápodes situados na superfície do quebra-mar. Com efeito, a partir dos planos criados a partir dos topos dos tetrápodes, consegue-se determinar o ponto central dos topos que estão visíveis e projetá-los para determinar o centro geométrico do tetrápode. Esta é uma etapa fundamental do trabalho.

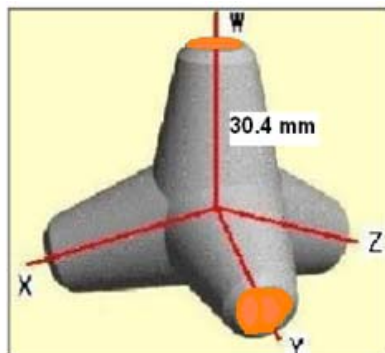


Figura 4.7- Exemplo das faces usadas.

Foram determinados planos ajustados aos valores de profundidade dos pontos contidos nos topos pelo método dos mínimos quadrados. É criado um sistema de equações, onde se utiliza o modelo matemático seguinte:

$$z = c1x + c2y + c3$$

(Soares F, Henriques M 2016)

sendo (x,y,z) são as coordenadas de pontos da nuvem de pontos contidos no topo e c1, c2 e c3 são as os coeficientes do plano.

4.3.5 - Determinação do ponto médio do plano

Para determinar o ponto central do plano foi aplicado o seguinte procedimento:

Foram determinadas os máximos e mínimos das coordenadas dos pontos pertencentes ao plano ajustado de forma a determinar o ponto médio do plano.

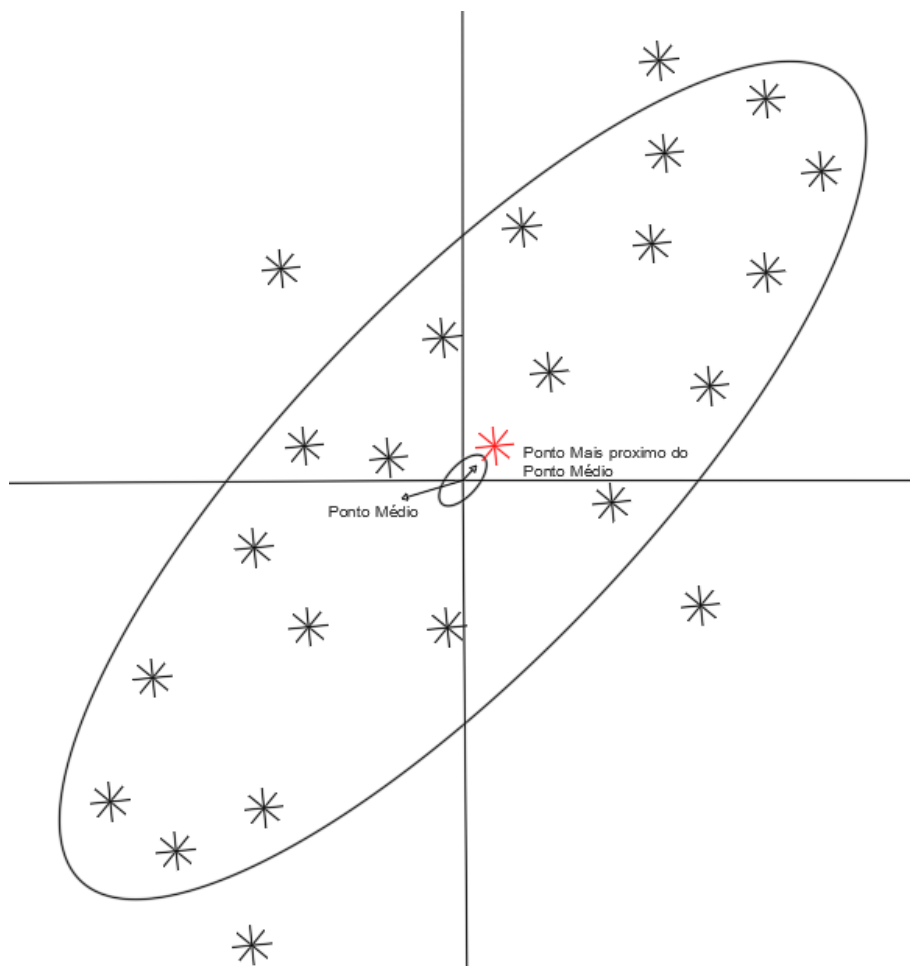


Figura 4.8 - Ponto médio do plano ajustado.

Determinando de seguida o ponto médio do plano:

$$\text{Coordenada } X_{fc} = \frac{X_{min} + X_{max}}{2} \quad (4.1)$$

$$\text{Coordenada } Y_{fc} = \frac{Y_{min} + Y_{max}}{2} \quad (4.2)$$

$$\text{Coordenada } Z_{fc} = \frac{Z_{min} + Z_{max}}{2} \quad (4.3)$$

Posteriormente foi determinado qual dos pontos pertencentes ao plano estaria mais próximo do ponto médio, foram usadas as distâncias euclidianas de todos os pontos da nuvem de pontos da face

Metodologia

selecionada para o ponto de coordenadas médio, sendo usado o ponto com menor distância para o ponto médio.

A distância euclidiana foi determinada da seguinte forma:

$$\text{Distância euclidiana } (D) = \sqrt{(x_i - X_{fc})^2 + (y_i - Y_{fc})^2 + (z_i - Z_{fc})^2} \quad (4.4)$$

em que, (x_i, y_i, z_i) são as coordenadas do ponto i da nuvem.

Após ter-se verificado qual o ponto mais próximo do ponto médio, foi projetado o vetor normal determinando o ponto central do tetrápode.

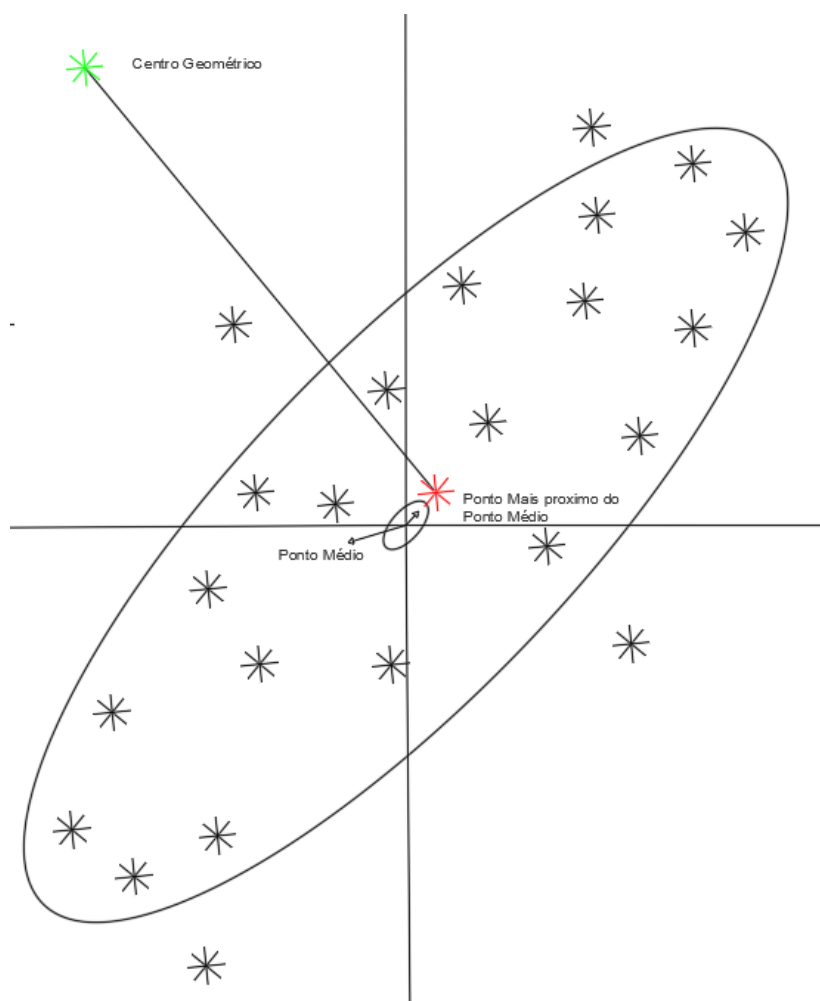


Figura 4.9 - Ponto da nuvem de pontos mais próximo do ponto médio.

Este processo necessita que exista uma distribuição homogênea dos pontos selecionados na face do tetrápode, poderá haver ocasiões que tal não aconteça por diferentes motivos tais como: Falta de pontos na face do tetrápode, a presença de *outliers* ou ainda uma distribuição não homogênea.

Este processo está pendente de uma verificação manual de forma a verificar se o plano ajustado se enquadra com a face do tetrápode.

4.3.6 - Determinação do centro do tetrápode

Após a determinação do ponto mais próximo ao ponto médio do plano, pode-se projetar o vetor normal sobre esse ponto de forma a determinar o centro geométrico do tetrápode.

Um vetor normal a um plano é um vetor que é perpendicular à superfície (Weisstein, 2016). Vai-se considerar que o plano é a superfície de referência pelo que os pontos contidos no plano têm $z=0$

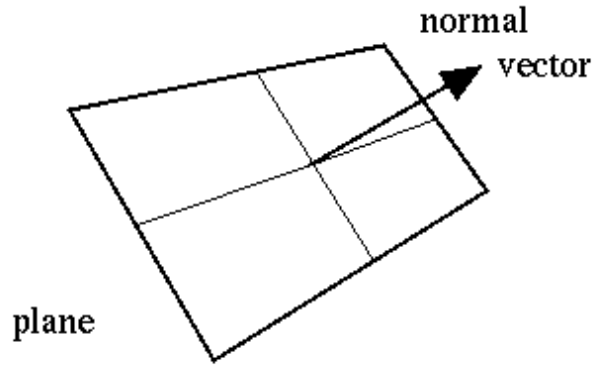


Figura 4.10 - Vetor normal (Weisstein 2016)

A equação do plano definida da seguinte forma:

$$f(x, y, z) = ax + by + cz + d = 0 \quad (4.6)$$

o vetor normal é dado por:

$$N = \nabla f = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

onde ∇f indica o gradiente. A equação do plano com o vetor normal $n = (a, b, c)$ que passa pelo ponto (x_0, y_0, z_0) é dada pela equação (Weisstein, 2016):

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z - z_0 \end{bmatrix} = a(x - x_0) + b(y - y_0) + c(z - z_0) = 0 \quad (4.6)$$

Após determinarmos os coeficientes do vetor normal, foi efetuada a projeção da coordenada do centro do tetrápode.

Sabendo que a distância entre o ponto central das faces do tetrápode e o centro geométrico é 30.4 mm (Figura 4.8)

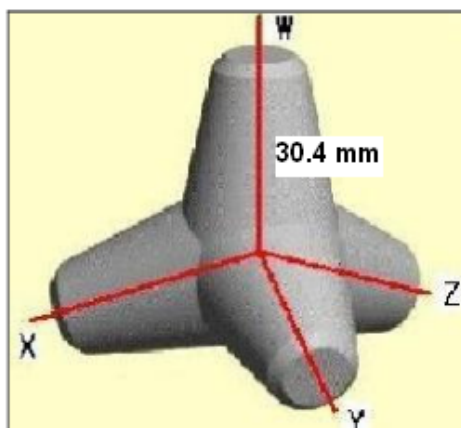


Figura 4.11 - Esquema geométrico do tetrápode cedido pelo LNEC.

foram determinadas as coordenadas do centro do tetrápode da seguinte forma:

$$x_{cg} = X_{fc} + \Delta x \quad (4.7)$$

$$y_{cg} = Y_{fc} + \Delta y \quad (4.8)$$

$$z_{cg} = Z_{fc} + \Delta z \quad (4.9)$$

onde,

X_{fc} , Y_{fc} e Z_{fc} são as coordenadas do ponto a nuvem de pontos, mais próximo do ponto médio do plano.

x_{cg} , y_{cg} e z_{cg} são as coordenadas do centro geométrico do tetrápode.

As translações Δx , Δy e Δz são determinadas da seguinte forma:

$$\Delta x = d * a \quad (4.10)$$

$$\Delta y = d * b \quad (4.11)$$

$$\Delta z = d * c \quad (4.12)$$

onde,

d é a distância 30.4 mm e a , b e c são os coeficientes do vetor normal.

5 ° - Quebra-mar

5.1 Introdução

O Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas (NPE) do Laboratório Nacional de Engenharia Civil constrói modelos físicos, à escala, quebra-mares em tanques ou canais com água onde são geradas ondas que incidem diretamente sobre os blocos de proteção para assim estudar o efeito da ondulação naquelas estruturas. Durante o estudo, pretende-se detetar as zonas dos modelos onde ocorreram alterações por medição dos deslocamentos dos blocos de proteção.

O interesse do presente estudo resulta do facto de não haver ainda a metodologia adequada para aquisição deste tipo de informação.

De forma a determinar os movimentos dos blocos que se encontram na superfície de quebra-mares vai utilizar-se o conhecimento prévio da geometria dos blocos, os quais têm formas regulares e dimensões conhecidas, determinando-se o centro geométrico dos blocos e as suas respectivas coordenadas para posteriormente efetuar-se o cálculo dos seus deslocamentos.

5.2 Descrição do ensaio

No caso de estudo em causa, o objetivo é verificar se a forma, dimensões e tipo de blocos e sua distribuição num quebra-mar, projetado para proteger uma zona balnear num futuro hotel numa das ilhas de Cabo Verde, são adequados. O tetrápode foi o tipo de bloco usado para a proteção da estrutura nas zonas mais expostas à ondulação. Na Figura 5.1, podemos visualizar um modelo similar aos usados no ensaio.



Figura - 5.1 Exemplo de um tetrápode

O modelo foi construído à escala. Na Figura 5.2, podemos ver uma representação do projeto elaborado para a baía em questão, onde se encontra assinalada a zona onde foi estudado o impacto da ondulação.

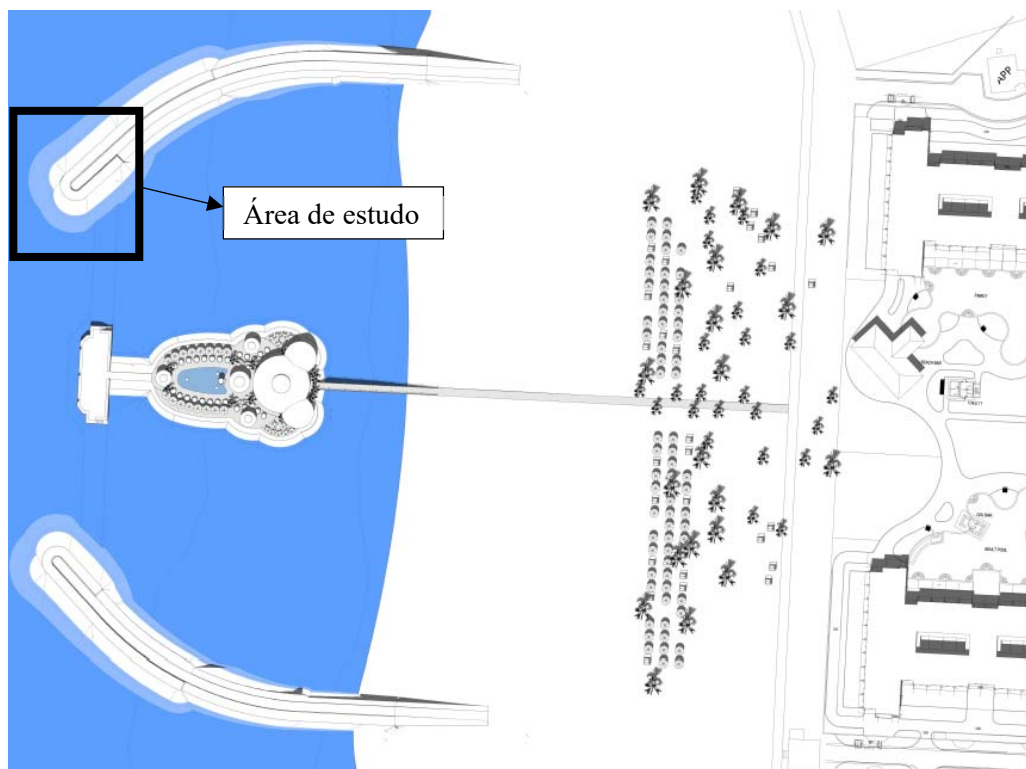


Figura 5.2 - Esquema da estrutura de ensaio montada cedida pelo LNEC.

Durante o ensaio efetuado, foram geradas ondas que incidiram diretamente sobre os blocos de proteção. O Kinect V2 vai criando nuvens de pontos com uma taxa de aquisição de 1Hz, que posteriormente serão processadas. Cada minuto do ensaio representa uma hora de ondulação. A intensidade da ondulação foi sendo aumentada ao longo do ensaio, de forma a provocar um maior deslocamento dos blocos.

Para a aquisição dos dados foi instalado o equipamento que pode ser visto na Figura 5.3.

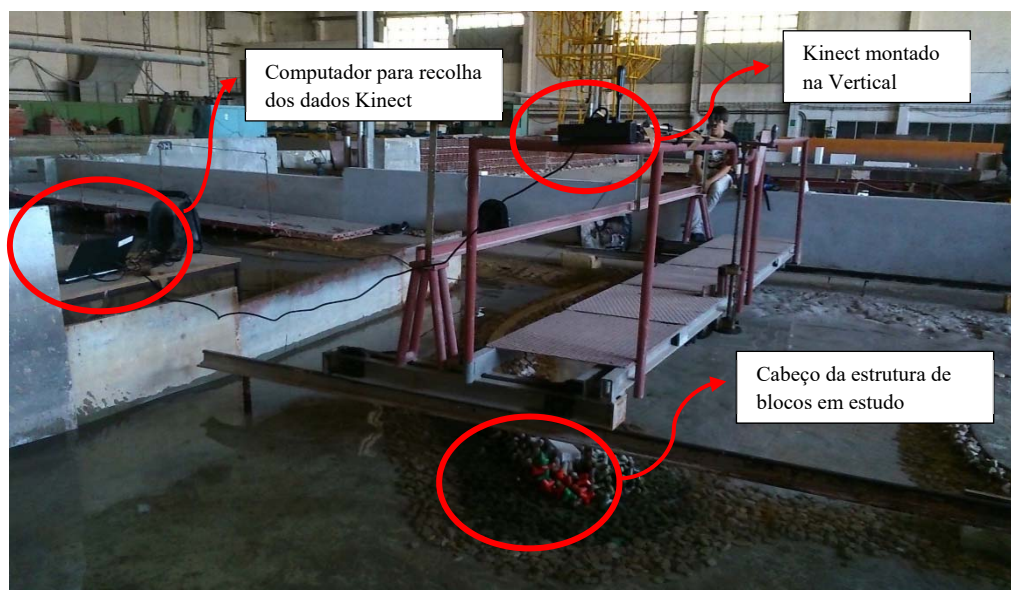


Figura 5.3 - Esquemática da experiência realizada.

A aquisição dos dados foi efetuada pelo processo explicado no subcapítulo 4.1, tendo sido realizada à maior frequência possível. Existem algumas limitações que não permitem uma aquisição com uma frequência muito bem definida, sendo a principal o hardware utilizado, como já referido anteriormente.

5.3 Resultados obtidos.

Inicialmente, foi aplicada uma metodologia de comparação direta entre as nuvens de pontos aferindo as diferenças entre as mesmas.

Este processo, contribuiu, essencialmente, para a demonstração da vantagem da introdução do processamento de imagens para estudo dos deslocamentos dos quebra-mares.

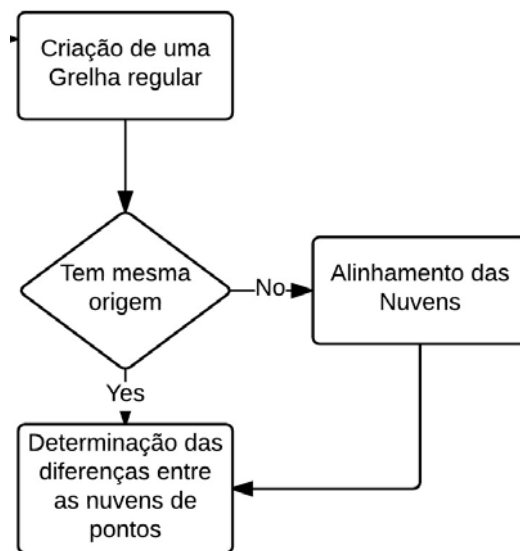


Figura 5.4 - Metodologia inicial do caso de estudo n

Posto isto, e de forma a analisarmos a evolução do quebra-mar foram escolhidas sete épocas de estudo. Nas Figuras 5.6 e 5.7 apresenta-se as nuvens de pontos da primeira e da sétima época sendo que as cores indicam a variação ocorrida entre as épocas de estudo. A unidade das escalas cromáticas apresentadas nas duas figuras é métrica.

Quebra mares

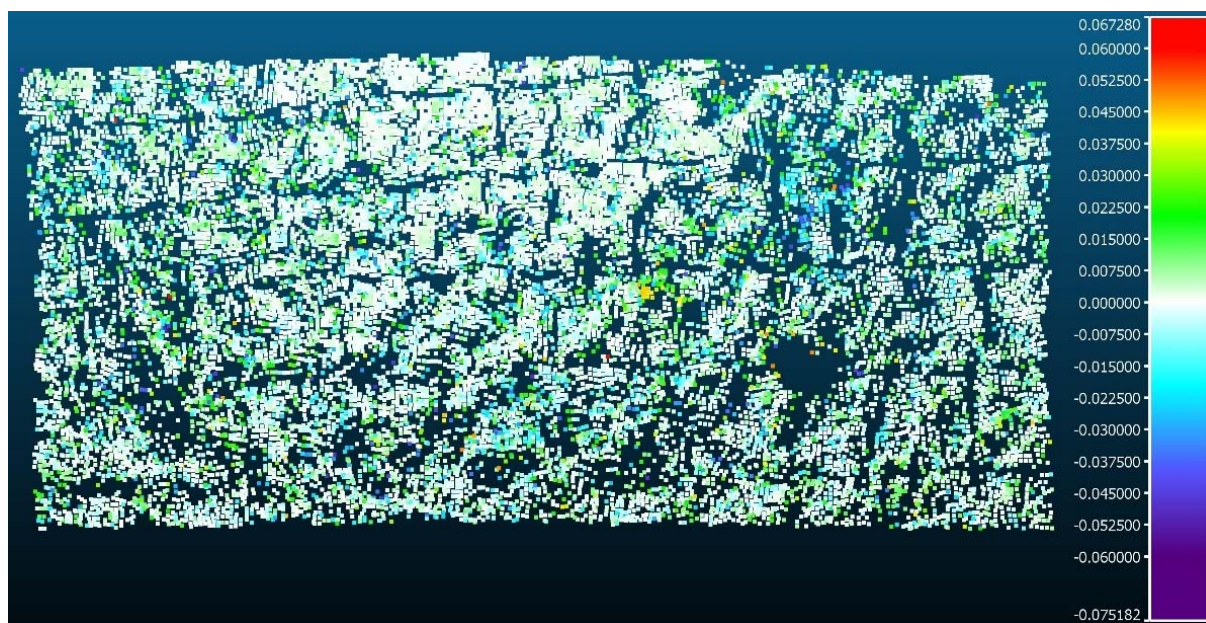


Figura 5.5 - 1ª época de estudo

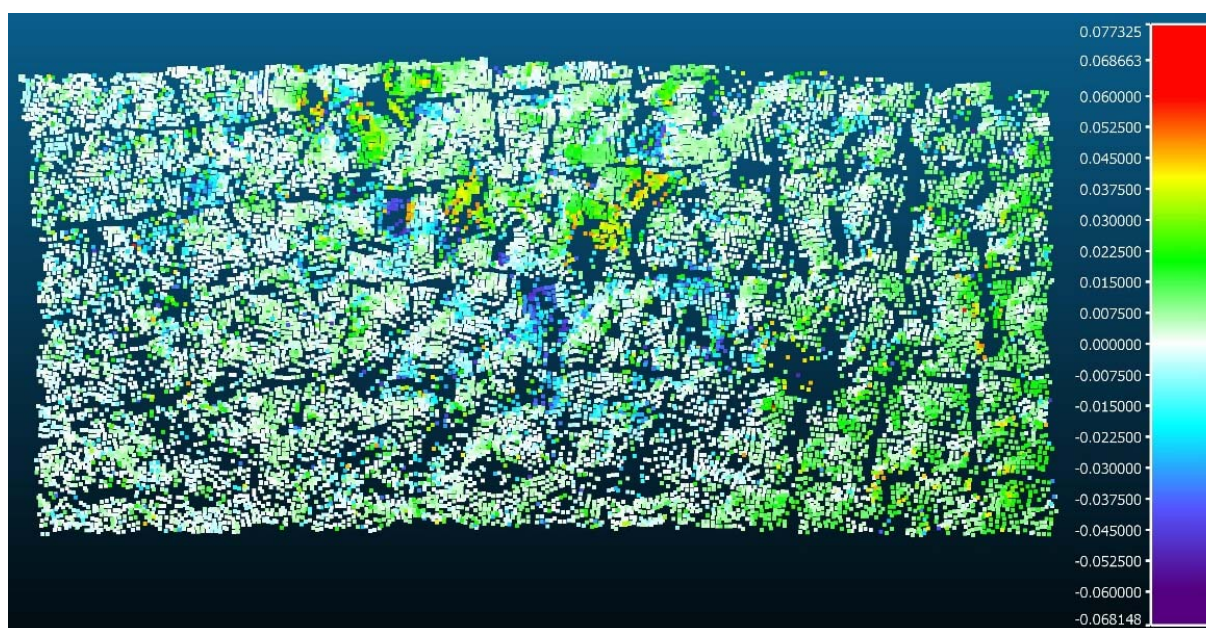


Figura 5.6 - 7ª época de estudo

Apesar de ser possível verificar que, pela análise da nuvem de pontos, ocorreram alterações na estrutura, mas não nos permite quantificar nem determinar os movimentos dos blocos do quebra-mar.

De forma a poder-se determinar os movimentos, foram então aplicadas as metodologias, onde foi usada a imagem RGB para determinarmos a elipse da imagem de uma das faces do tetrápode que, a partir da sua geometria, permitiu determinar o centro do tetrápode.

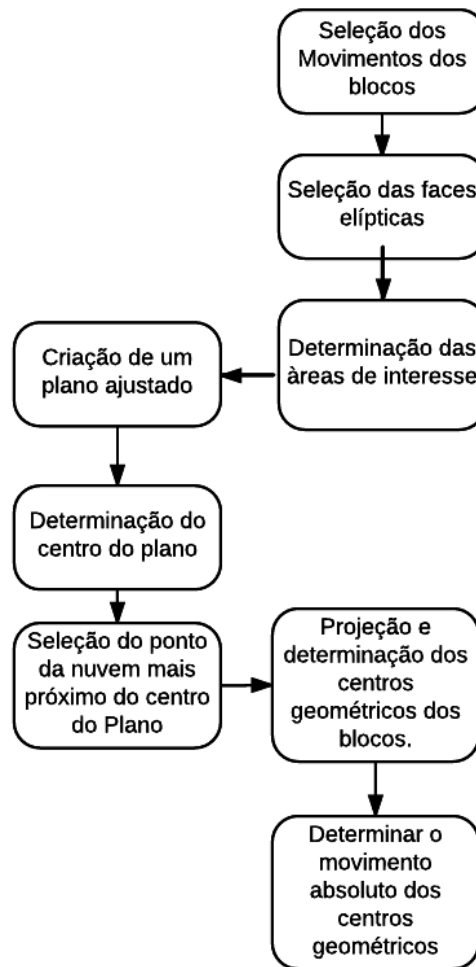


Figura 5.7 - Esquema da metodologia utilizada

5.4 Seleção das regiões de interesse

Esta seleção foi efetuada de forma manual, uma vez que não foi possível fazer uma segmentação automatizada da forma da elipse. Devido ao facto de as faces assumirem várias formas distintas, não sendo possível segmentar as mesmas de forma automatizada, foi proposta uma solução para a resolução deste problema que se encontra descrita no subcapítulo “Sugestões futuras”.

Quebra mares



Figura 5.8 - Exemplo de uma face selecionada.

Após a escolha da área de estudo manual, restringe-se a nuvem de pontos unicamente à área da face selecionada, permitindo posteriormente criar um plano ajustado somente nessa área

Foram escolhidos alguns exemplos de movimentos acentuados e verificarmos as deslocamentos do mesmo.

No exemplo nº1, podemos verificar um movimento do bloco vermelho que, com o batimento das ondas, descai, alterando a sua posição como pode ser visualizado nas Figuras 5.9 e 5.10. O deslocamento teve uma duração aproximada de 5 segundos (sequência de movimento é intervalada entre as aquisições 181-185).



Figura 5.9 - Primeiro exemplo (contendo quatro imagens) do movimento selecionado para a determinação do centro geométrico do tetrápode

Foi então isolado o bloco, representado na Figura 5.11, onde se procedeu à seleção da face para a determinação do centro do tetrápode.



Figura 5.10 - O bloco isolado para dar uma melhor percepção do movimento

As faces selecionadas do tetrápode encontram-se representadas na Figura 5.12.



Figura 5.11 - As faces selecionadas para a determinação dos seus centros

No exemplo nº2, podemos verificar um movimento do bloco verde que, com o batimento das ondas, também se movimenta no sentido do mar – como pode ser visualizado nas Figuras 5.13 e 5.14 o deslocamento teve uma duração aproximada de 3 segundos.



Figura 5.12 - Segundo Exemplo do deslocamento de um tetrápode.

Faces selecionadas do tetrápode.



Figura 5.13 - As faces selecionadas.

Após a seleção das faces, foram então selecionados os pontos da nuvem de pontos que se encontram nas faces de modo a originar um plano ajustado para a determinação do centro geométrico dos tetrápodes.

Nas Figuras 5.15 e 5.16, podemos ver as posições inicial e final do tetrápode com plano ajustado e com o seu centro geométrico determinado no exemplo nº 1. Nas Figuras 5.18 e 5.19, podemos ver o exemplo nº 2.

Nas Figuras 5.17 e 5.20, podemos ver a sobreposição da posição inicial com a posição final do tetrápode, dos dois exemplos, com os seus centros geométricos.

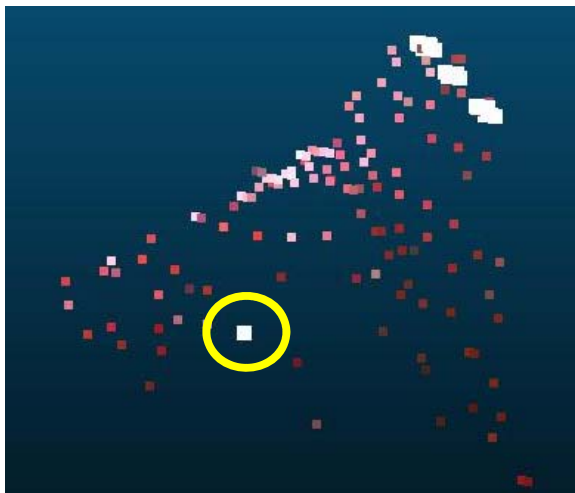


Figura 5.14 - Centro geométrico do tetrápode na posição inicial

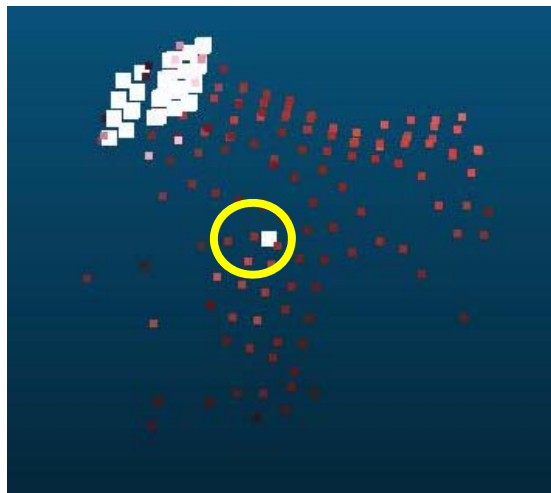


Figura 5.15 - Centro geométrico do tetrápode na posição final

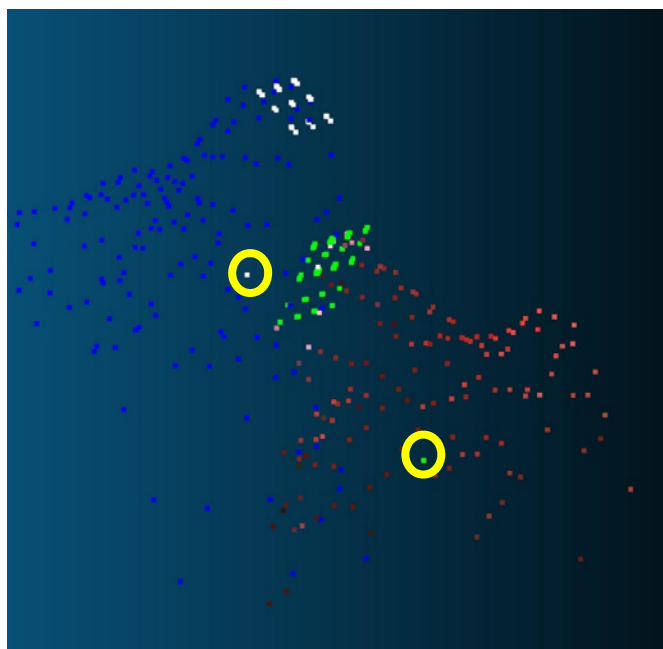


Figura 5.16 - Sobreposição das posições inicial e final do tetrápode com os seus respectivos centros geométricos.

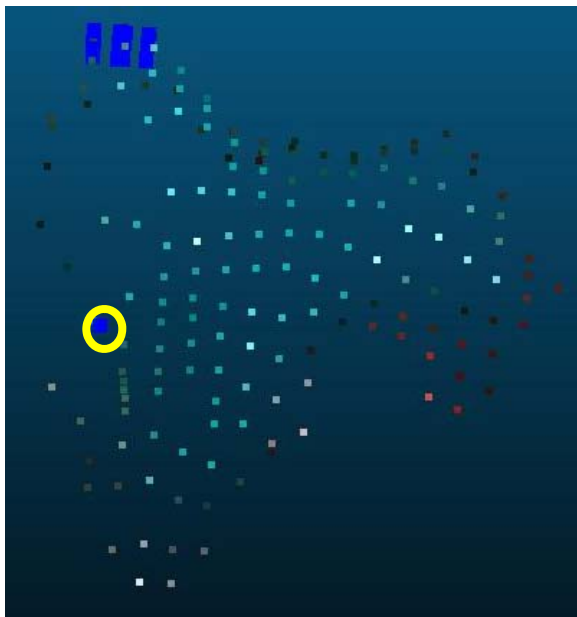


Figura 5.17 - Centro geométrico do tetrápode na posição inicial

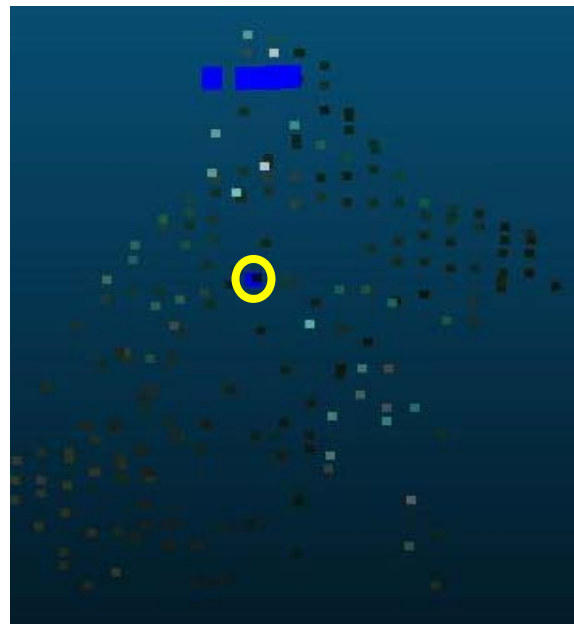


Figura 5.18 - Centro geométrico do tetrápode na posição final

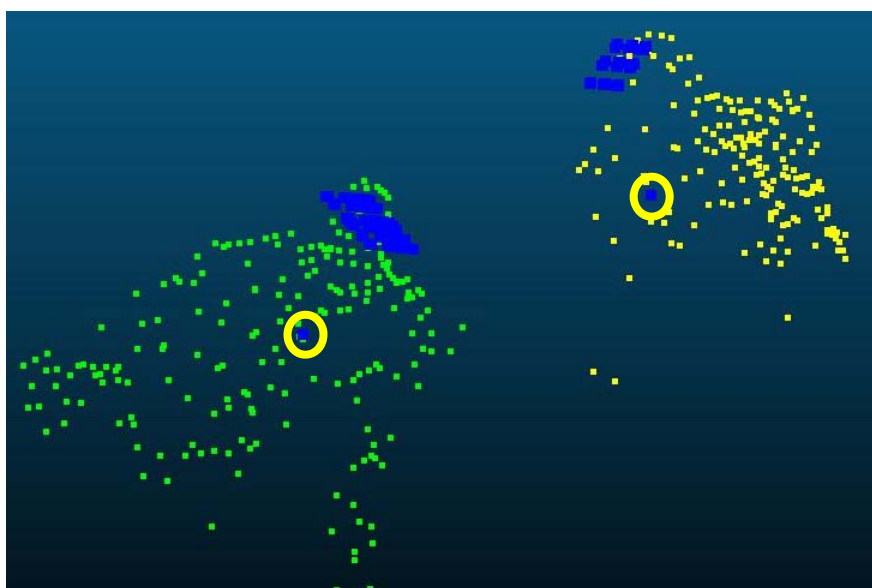


Figura 5.19 - Sobreposição das posições inicial e final do tetrápode com os seus respectivos centros geométricos.

Na Tabela 5.1, poderemos verificar as coordenadas 3D do centro geométrico, do plano e do centro geométrico do tetrápode.

Quebra mares

Tabela 5.1- Coordenadas dos centros geométricos dos tetrápodes e da sua evolução.

1º Exemplo					
Centro do plano ajustado			Centro do tetrápode		
X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
0.169	-0.013	1.195	0.153	-0.013	1.221
0.169	-0.013	1.195	0.155	-0.013	1.223
0.166	-0.027	1.217	0.184	-0.029	1.241
0.158	-0.021	1.230	0.184	-0.021	1.246
2º Exemplo					
Centro do plano ajustado			Centro do tetrápode		
X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
0.084	-0.037	1.227	0.054	-0.037	1.235
0.080	-0.044	1.215	0.053	-0.044	1.229
0.087	-0.090	1.265	0.116	-0.090	1.273

Tendo os centros geométricos do tetrápode sido determinados, é possível determinar a distância entre a sua posição inicial e a posição final.

$$Distância = \sqrt{(x_{final} - x_{inicial})^2 + (y_{final} - y_{inicial})^2 + (z_{final} - z_{inicial})^2} \quad (5.1)$$

Distância do exemplo nº 1 = 0.041 m.

Distância do exemplo nº 2 = 0.083 m.

6^o - Barragem

6.1 Introdução

Neste caso de estudo, será abordada a capacidade do Kinect V2 para determinar a erosão do leito do modelo de um rio após as descargas de um descarregador de cheias de uma barragem, de forma a analisar se essa mesma erosão irá criar uma barragem natural que aumentasse a massa de água sobre as turbinas da barragem, não permitindo que as mesmas pudessem efetuar a rotação e gerassem eletricidade.

6.2 Descrição da Experiência

Para a realização do presente estudo foi utilizado um modelo reduzido tridimensional, não distorcido, à escala geométrica de 1/60. A extensão da área reproduzida no modelo garante a reprodutibilidade das condições de aproximação e restituição do escoamento controlado pelo descarregador de cheias. A ordem de trabalho (sequência das tarefas) poderá ser visualizada na Figura 5.1.

Nos trechos do leito do rio passíveis de serem erodidos por ação do escoamento, utilizou-se um fundo móvel. Assim, a zona onde incidem os jatos localiza-se sobre granitos porfíroides de grão fino, caracterizada maioritariamente por materiais considerados saudáveis (com um grau de alteração baixo) e um grau de fracturação relativamente baixo.

A experiência foi realizada para avaliar a deformação do leito após um período de 24 horas de descargas. Inicialmente, foi efetuado o levantamento do leito do rio sem água, tendo posteriormente sido executada uma descarga de uma hora que corresponde a oito horas. Realizaram-se três levantamentos com intervalos de uma hora.

Foi ainda simulada uma nova descarga de três horas para simular uma nova deformação do leito do rio para se perceber como o mesmo se iria comportar. Na totalidade foram realizados cinco levantamentos do leito do rio (épocas 1 a 5).

As primeiras três épocas foram realizadas com o Kinect na mesma posição, enquanto as épocas 4 e 5 foram obtidas de posições distintas.

Na Figura 6.1, podemos ver o esquema da estrutura de teste montada para o estudo em causa.

Barragem

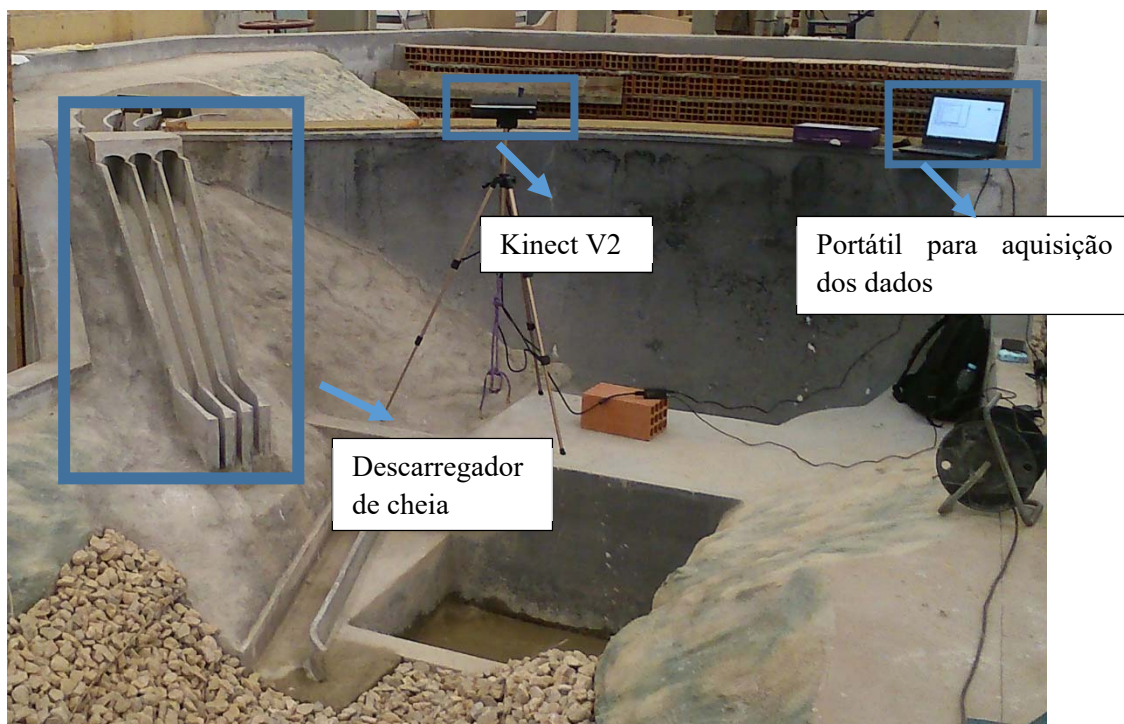


Figura 6.1 - Esquema da estrutura montada para aquisição dos dados.

Na Figura 6.2, podemos visualizar o leito do rio na sua forma original e o caso de estudo em concreto.



Figura 6.2 - Leito do Rio Mondego a ser estudado.

Para o levantamento do leito do rio foi determinado que a melhor posição disponível para a captura do mesmo seria num perfil similar ao da trajetória do jato de água. Na Figura 6.3, podemos ver a posição de levantamento do leito do rio.

Barragem



Figura 6.3 - Exemplo do ponto de vista do descarregador de cheias e de um jato de água.

De referir que a posição ideal para aquisição dos dados seria na vertical em relação ao leito do rio, uma vez que traria várias vantagens, tanto ao facto de evitar pontos “cegos” (zonas não visadas pelo Kinect), bem como relativamente ao referencial de aquisição que seria muito mais uniforme e fácil de georreferenciar. Como foi verificado no subcapítulo **2.5**, quando maior for o ângulo de incidência, menor é a precisão. Contudo, tal não foi possível, uma vez que não existiam as infraestruturas necessárias. No entanto, como se irá verificar, posteriormente, o Kinect V2 conseguiu com sucesso modelar a deformação do leito do rio.

6.3 Resultados obtidos.

Neste subcapítulo, iremos descrever os resultados obtidos através das metodologias anteriormente descritas. Através da Figura 6.4, pode-se observar a metodologia aplicada neste caso de estudo.

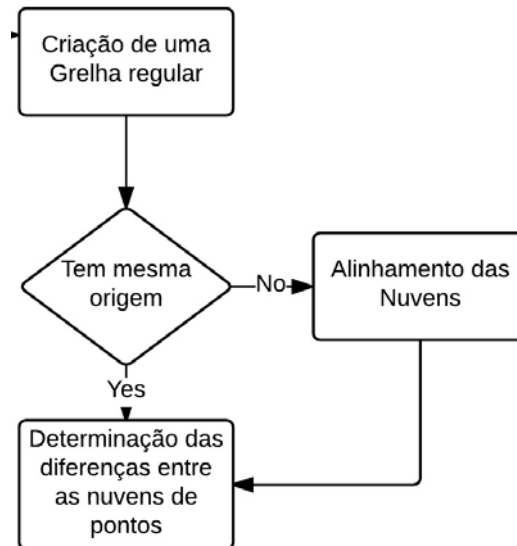


Figura 6.4 - Metodologia aplicada ao caso de estudo da Barragem Girabolhos

Na Figura 6.5, temos a representação dos resultados obtidos pela aquisição do Kinect V2. De referir que estas nuvens foram adquiridas com uma resolução de 512 x 424 e, posteriormente, transformadas numa grelha regular.

6.3.1 - Alinhamento

Devido ao facto de ter havido duas épocas de aquisição com posições distintas, foi necessário proceder ao alinhamento das nuvens dessas épocas para as épocas iniciais.

Como tal, foram usados pontos de controlo que tinham sido previamente colocados na estrutura montada e em posições que não iriam sofrer deformações. As nuvens de pontos foram alinhadas pelos mesmos, sendo necessário seleccionar pelo menos três pares de pontos idênticos nas nuvens de pontos. Este método é muito útil para alinhar as nuvens com bastante precisão.

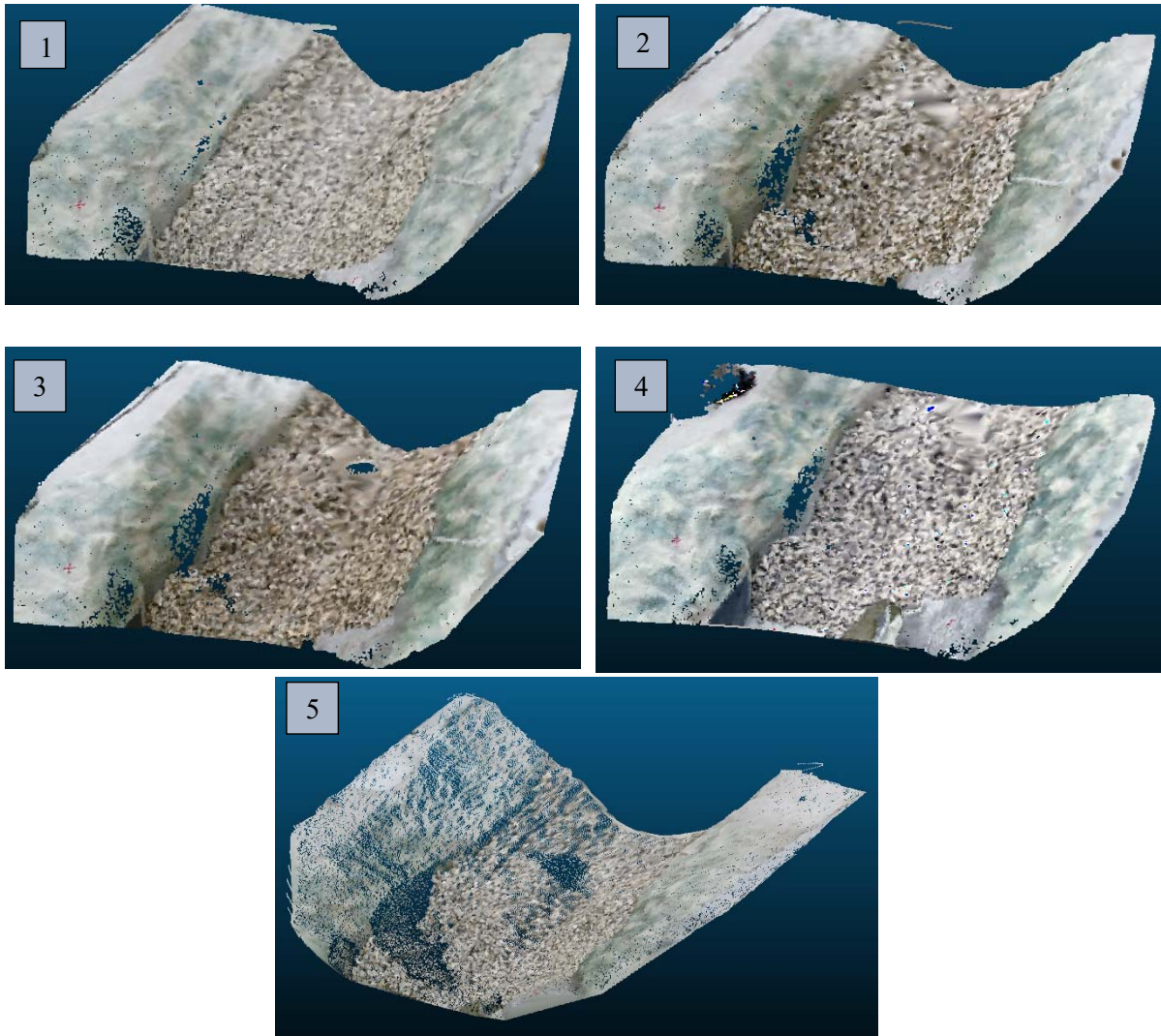


Figura 6.5 - Resultados das 5 épocas de estudo.

Os ensaios de erosão permitiram, igualmente, registar a evolução do fundo móvel ao longo do tempo. Pode-se constatar que se criou uma fossa de erosão na margem esquerda do leito do rio e uma barra de assoreamento. Para podermos verificar e quantificar a erosão visualizada, foram aplicadas as metodologias descritas no Capítulo 4.

O período de maior erosão ocorreu no primeiro período de descargas. Aqui, verificou-se que tanto a fossa de erosão como a subsequente barra de assoreamento se formam, fundamentalmente, na margem esquerda do leito e, predominantemente, durante o primeiro terço de ensaio, ao qual corresponde uma duração de 8 horas no protótipo. Ao longo da experiência, ocorreu uma erosão de cerca de 11 m, tendo começado a estagnar nas épocas seguintes (como se poderá verificar nas Figuras 6.6 a 6.11 a unidade utilizada nas escalas é o metro).

No seguimento, não se verifica uma alteração significativa do terreno a jusante.

Barragem

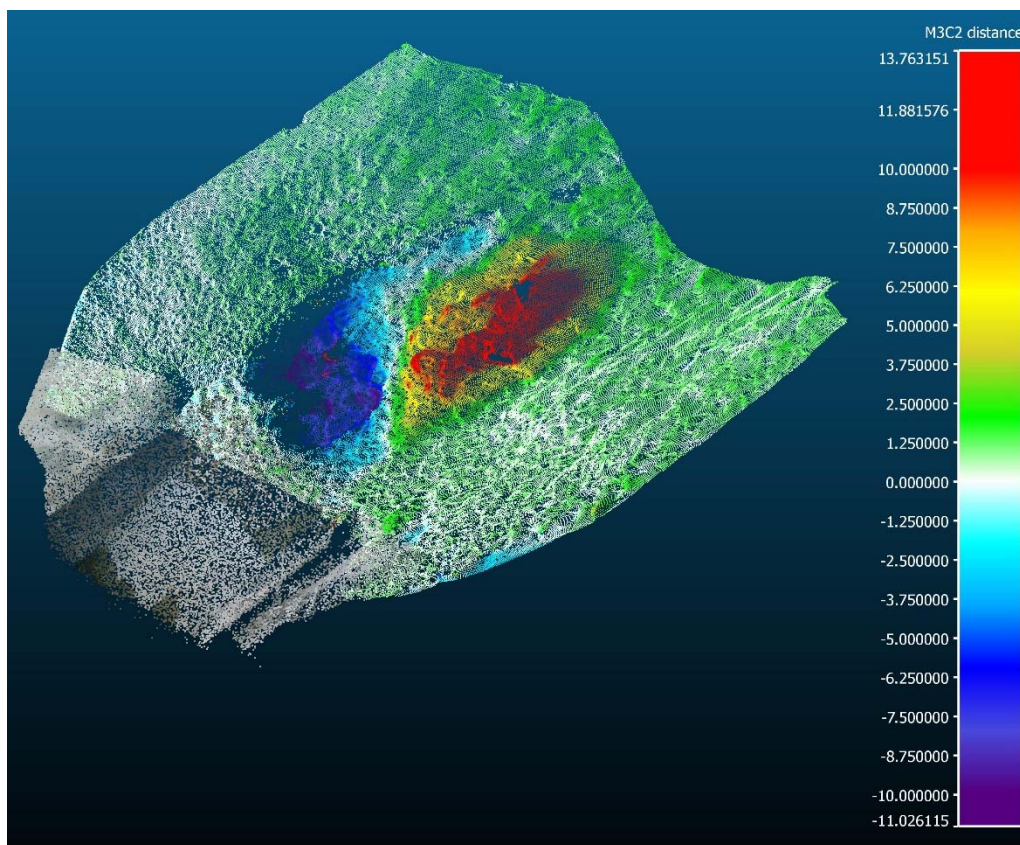


Figura 6.6 - Erosão entre a 2ª época e a 1ª época

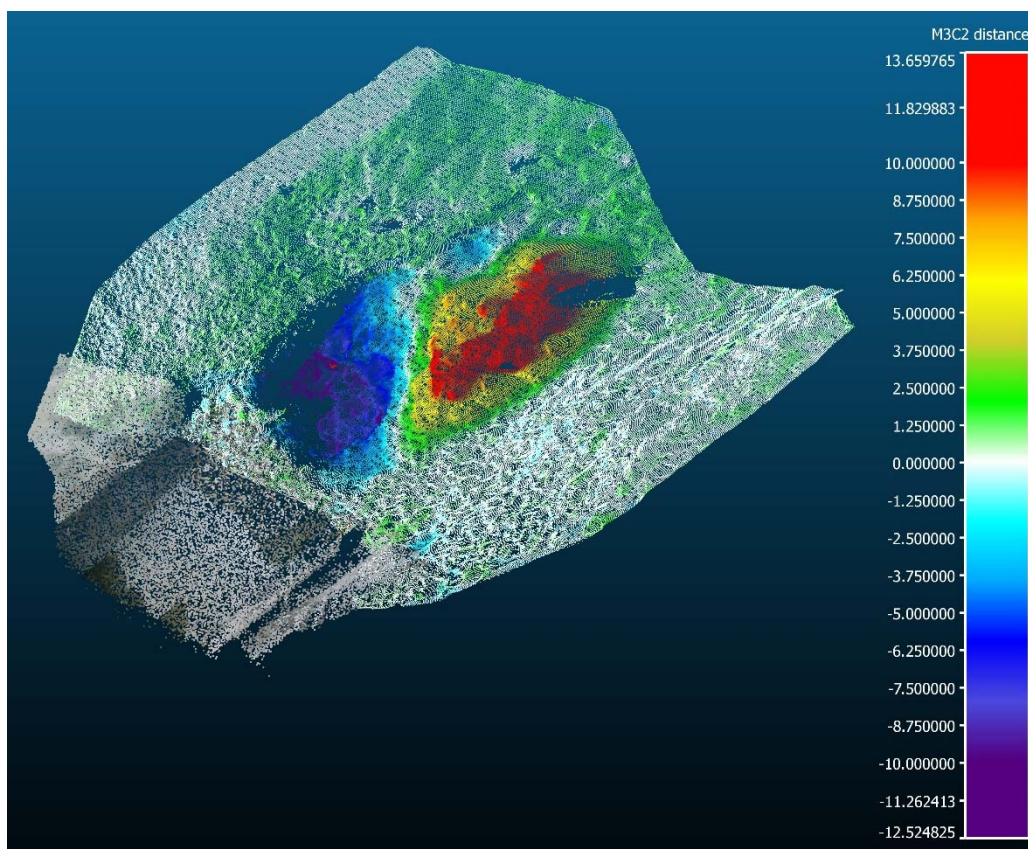


Figura 6.7 - Erosão entre a 3ª época e a 1ª época

Barragem

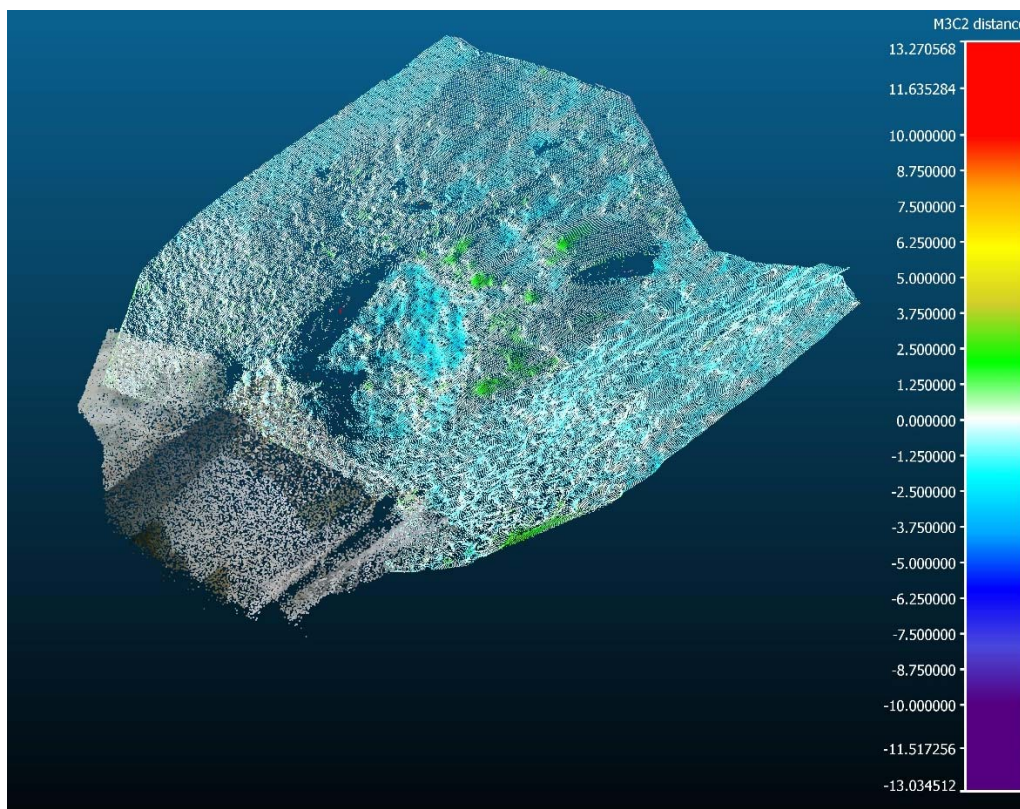


Figura 6.8 - Erosão entre a 3º época e a 2º época

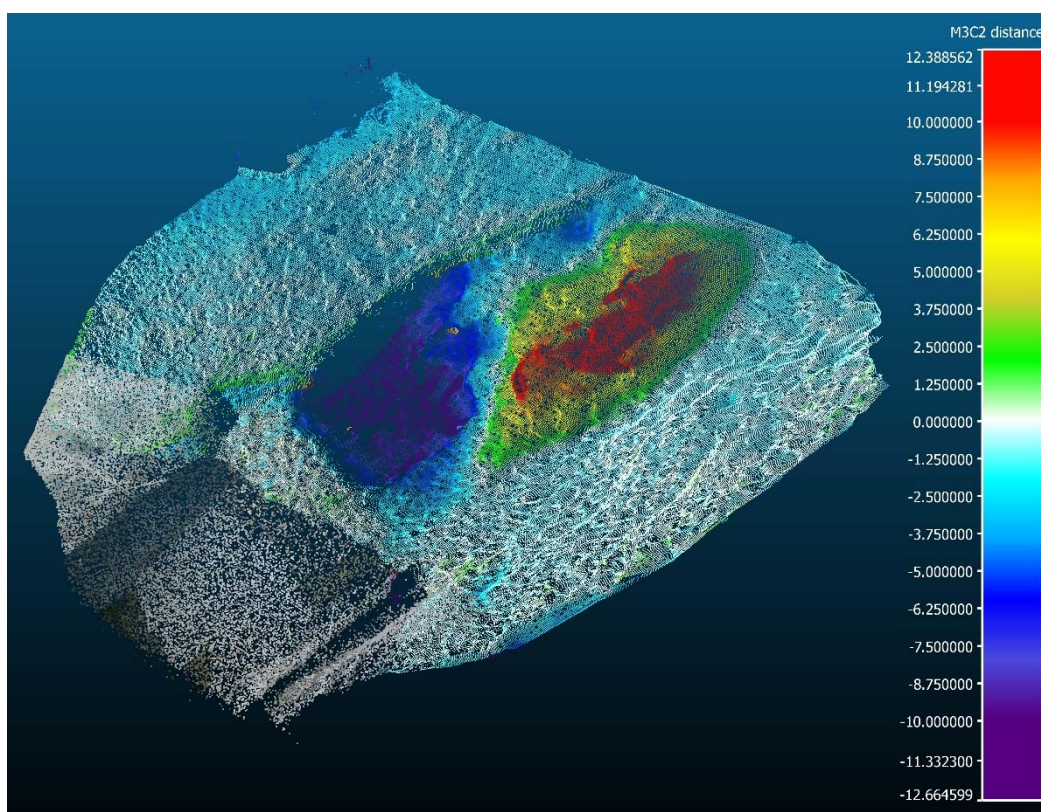


Figura 6.9 - Erosão entre a 4º época e a 1º época

Barragem

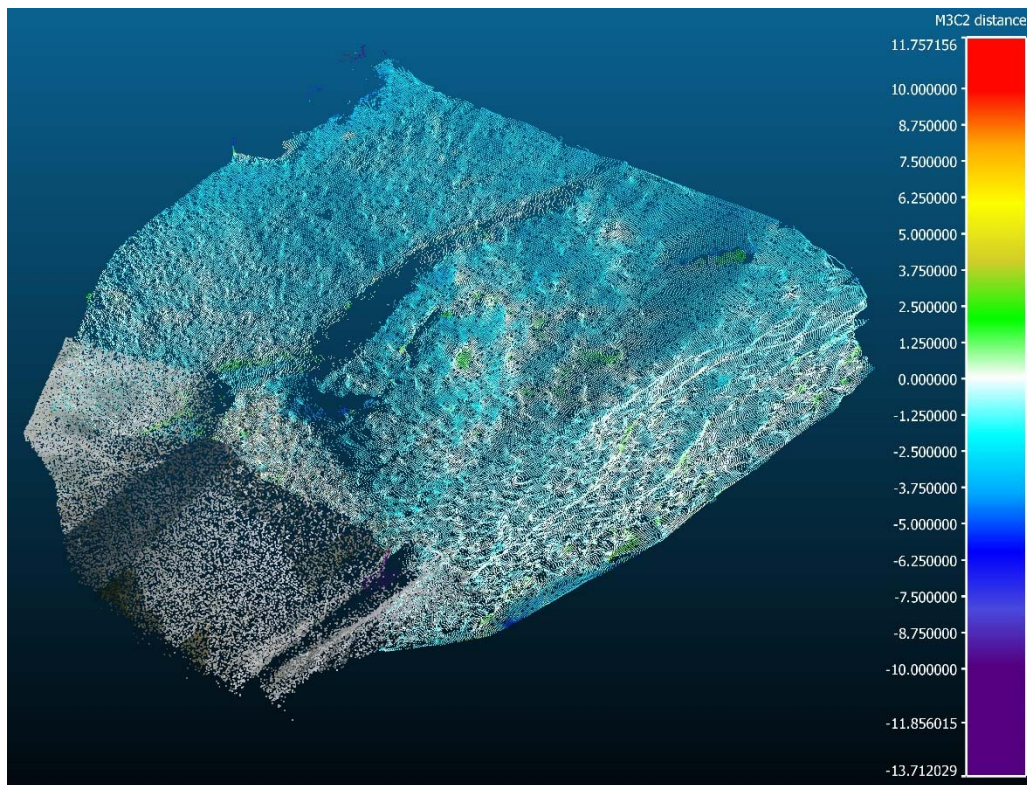


Figura 6.10 - Erosão entre a 4ª época e a 3ª época

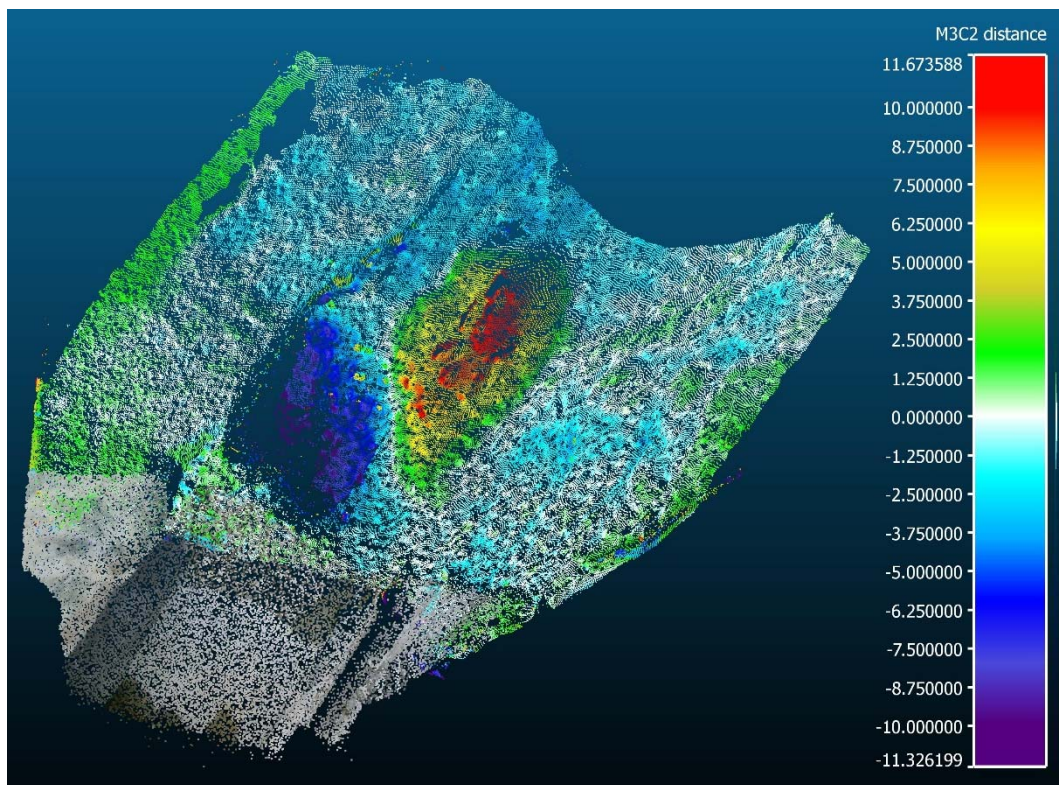


Figura 6.11 - Erosão entre a 5ª época e a 1ª época

7^o - Conclusão

No presente trabalho pretendeu-se testar o sensor Kinect V2 para aquisição de informação destinada a determinar os movimentos de blocos de quebra-mares e a erosão de um leito do rio.

No primeiro caso de estudo foi criada uma metodologia para a monitorização de um modelo de um quebra-mar construído num tanque de ondas através da determinação dos movimentos dos blocos do quebra-mares. A análise do comportamento deste tipo de estrutura numa fase de testes é fulcral para se poder criar a estrutura mais resistente possível com o menor custo.

Esta questão surgiu, uma vez que ainda não se teria encontrado a resposta adequada através dos métodos disponíveis no LNEC para a deteção desses movimentos. Através do Kinect V2, foi possível analisar a evolução da estrutura através da nuvem de pontos gerada, assim como os movimentos dos tetrápodes instalados nas superfícies dos quebra-mares.

Para tal, foram utilizadas imagens RGB geradas pelo sensor Kinect V2, segmentando as faces dos tetrápodes e restringindo a análise das nuvens de pontos a essas mesmas faces, criando um plano ajustado às mesmas, de forma a determinar-se o ponto da nuvem de pontos mais próximo ao ponto médio do plano, para a projeção do centro geométrico do tetrápode.

Este processo está pendente de uma verificação manual de forma a verificar se o plano ajustado se enquadra com a face do tetrápode, uma vez que, poderá haver ocasiões em que a distribuição dos pontos na face não seja homogénea pelos seguintes motivos: Falta de pontos na face do tetrápode, a presença de *outliers* ou ainda uma distribuição não homogénea.

De forma a obter resultados práticos, foram escolhidos dois exemplos onde o movimento dos tetrápodes foi bastante acentuado: no exemplo nº 1 ocorreu um deslocamento aproximadamente de 4 cm e no segundo exemplo um deslocamento aproximadamente de 8.3 cm.

Como se trata de uma metodologia inovadora neste tipo de aplicação, ainda não existe um método alternativo para a determinação dos centros geométricos dos blocos que permita uma comparação dos resultados obtidos de forma a permitir a validação dos resultados obtidos.

Nas sugestões futuras serão sugeridas algumas possibilidades para a validação desta metodologia e de um processo de automatização para a deteção das faces dos tetrápodes.

No segundo caso, pretendia-se estudar a evolução da erosão do leito do rio Mondego, após descargas do descarregador de cheias, onde foi verificada uma erosão na margem esquerda do rio na ordem dos 11 m. No decorrer do estudo, pôde-se constatar a criação de uma barra de assoreamento, mas que não criou nenhuma perturbação no fluxo de escoamento do rio.

Em ambos os casos, a utilização do Kinect V2 representou um sucesso, tendo correspondido às exigências requeridas nos cenários em causa. Deste modo, podemos concluir, com alguma margem de segurança, que é viável e aplicável o sensor Kinect V2 para este tipo de ensaios, em ambiente controlado,

fechado e em distâncias curtas. O mesmo apresenta grandes vantagens como o seu custo reduzido e o facto de poder fazer uma monotorização interrupta.

A título pessoal, considere esta tese desafiante em todas as suas vertentes, pela progressão que senti em termos de conhecimento, ao facto de ter interagido com outras áreas de engenharia que abriram novos horizontes e pelo desenvolvimento pessoal e humano.

7.1 Sugestões futuras

Aqui, neste subcapítulo iremos abordar algumas sugestões que podem melhorar a performance do Kinect V2, bem como o produto final obtido.

No caso de estudo dos quebra-mares a criação de uma biblioteca de imagens quer permita a deteção das faces de forma automatizada seria fulcral para a determinação dos centros geométricos e dos seus movimentos de forma automatizada, através da deteção de pontos comuns com as imagens, sem a necessidade da seleção das faces pelo utilizador.

Seria também necessário ter um conhecimento completo de geometria dos blocos de proteção dos quebra mares. Uma análise das mesmas para a criação de novas soluções para a determinação dos centros geométricos, podendo até criar alguma redundância e consequentemente melhorar a exatidão com que os mesmos são determinados.

De forma a poder-se validar a metodologia elaborada para o cálculo dos movimentos dos centros dos tetrápodes, poderá ser simulado um movimento num ambiente controlado onde se desloca o bloco com uma distância previamente conhecida.

Referências Bibliográficas

- Butkiewicz, T., 2015. Low-cost coastal mapping using Kinect v2 time-of-flight cameras. *2014 Oceans - St. John's, OCEANS 2014*.
- Cai, Z. et al., 2016. RGB-D datasets using microsoft kinect or similar sensors: a survey. *Multimedia Tools and Applications*, pp.1–43. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s11042-016-3374-6>.
- Castaneda, V. & Navab, N., 2011. Time-of-Flight and Kinect Imaging. , pp.1–27.
- Clark, R.A. et al., 2015. Reliability and concurrent validity of the Microsoft Xbox One Kinect for assessment of standing balance and postural control. *Gait and Posture*, 42(2), pp.210–213. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.03.005>.
- Corti, A. et al., 2016. A metrological characterization of the Kinect V2 time-of-flight camera. *Robotics and Autonomous Systems*, 75, pp.584–594. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.robot.2015.09.024>.
- Fankhauser, P. et al., 2015. Kinect v2 for mobile robot navigation: Evaluation and modeling. *Proceedings of the 17th International Conference on Advanced Robotics, ICAR 2015*, pp.388–394.
- GDAL, 2016. Gridding. Available at: http://gdal.org/1.11/grid_tutorial.html [Accessed May 5, 2016].
- Girardeau-Montaut, D., 2015. CloudCompare version 2.6.1. user manual. , p.181. Available at: <http://www.danielgm.net/cc/>.
- Gonzalez-Jorge, H. et al., 2015. Metrological comparison between Kinect i and Kinect II sensors. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 70, pp.21–26. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2015.03.042>.
- Lachat, E. et al., 2015. First experiences with kinect V2 sensor for close range 3D modelling. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 40(5W4), pp.93–100.
- Lague, D., Brodu, N. & Leroux, J., 2013. Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: Application to the Rangitikei canyon (N-Z). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 82(February 2013), pp.10–26.
- Matlab, 2016. Single Camera Calibration App. Available at: <http://www.mathworks.com/help/vision/ug/single-camera-calibrator-app.html> [Accessed January 1, 2016].
- Pagliari, D. & Pinto, L., 2015. Calibration of Kinect for Xbox One and comparison between the two generations of microsoft sensors. *Sensors (Switzerland)*, 15(11), pp.27569–27589.
- Pereira, M. et al., 2015. Port Infrastructure Control (Madeira Island, Portugal) through a Hybrid Monitoring System (GNSS and Accelerometers). *Marine Georesources & Geotechnology*, 0618(November), pp.1–13. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1064119X.2015.1054009>.
- Soares, F. & Henriques, M., 2016. Integration of Image Processing Tools for Monitoring Breakwaters Models. *FCUL*, p.8.
- Weisstein, E.W., 2016. Normal Vector. *MathWorld*. Available at: <http://mathworld.wolfram.com/NormalVector.html> [Accessed January 1, 2016].

Anexo

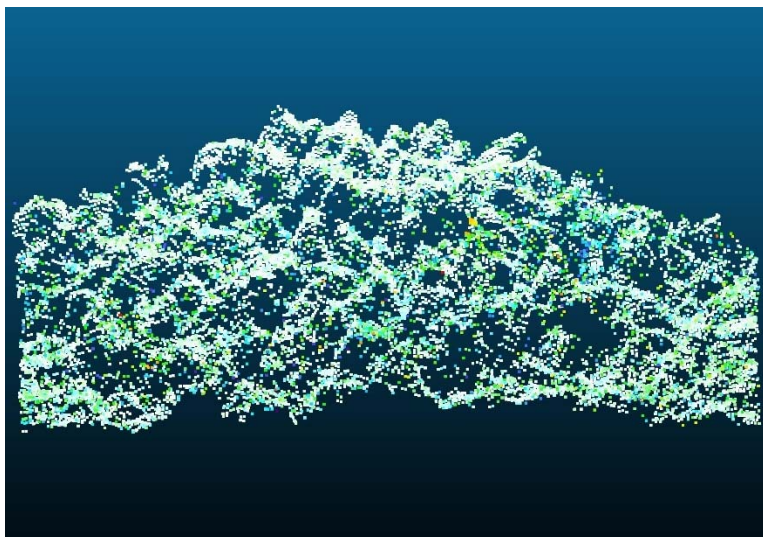


Figura 1- 1º época de estudo

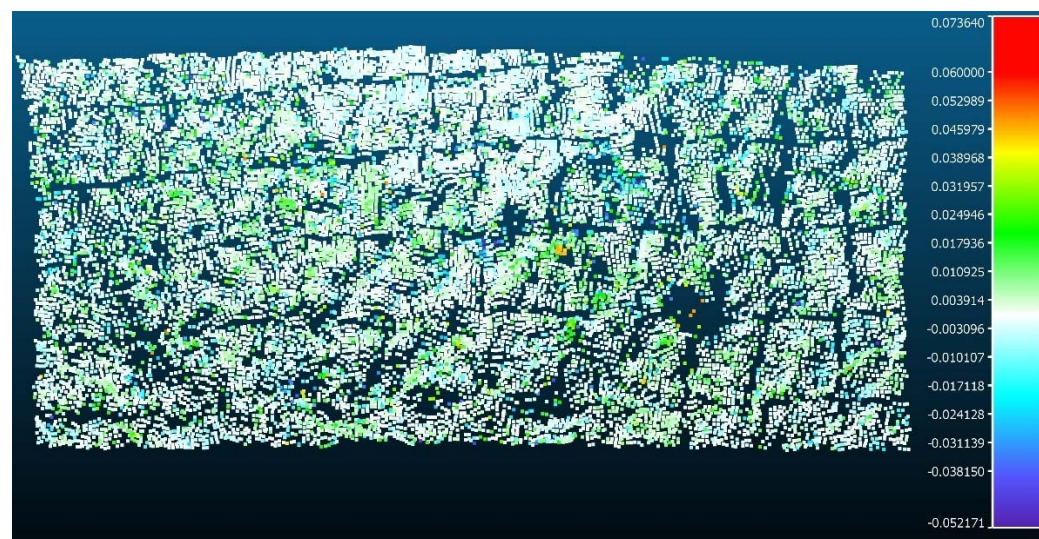
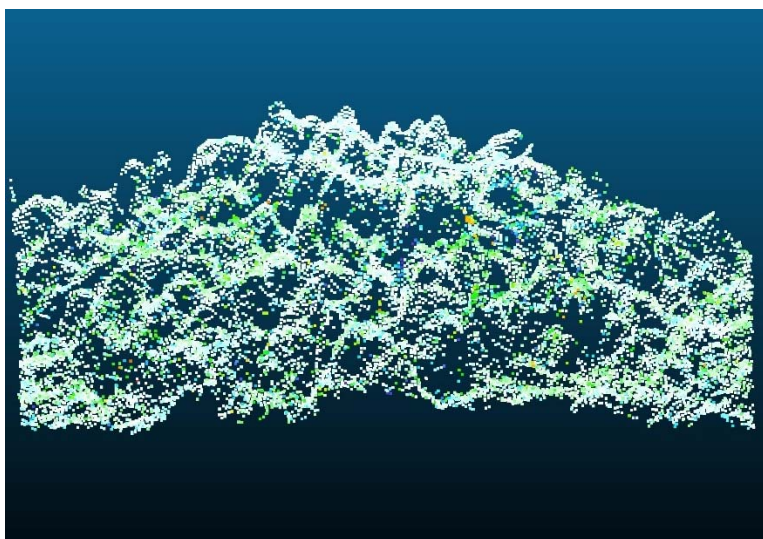


Figura 2-2º época de estudo

Anexo

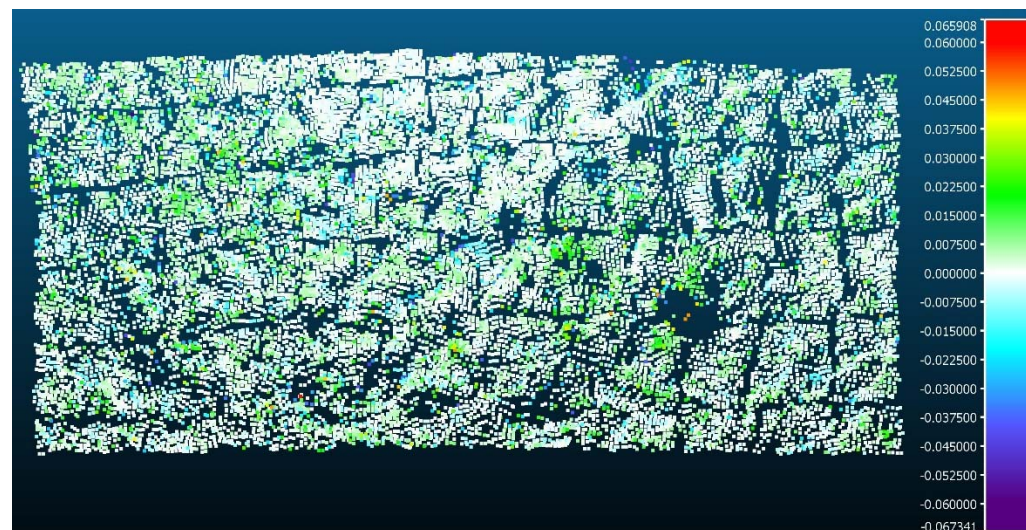
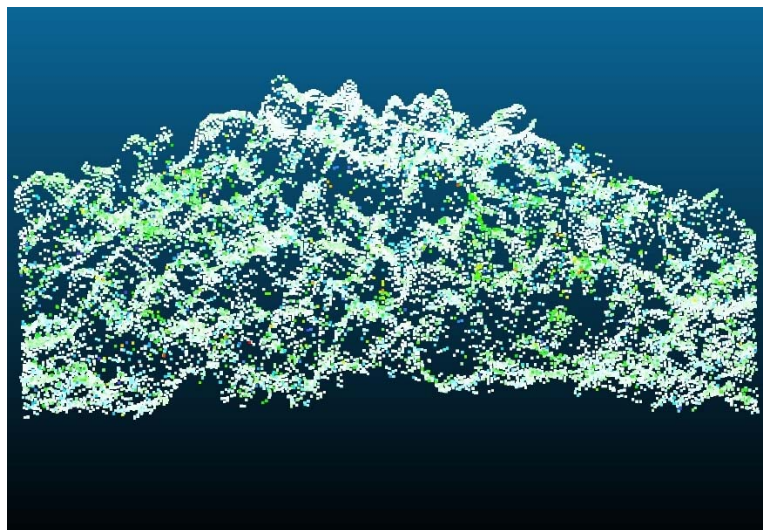


Figura 3-3º época de estudo

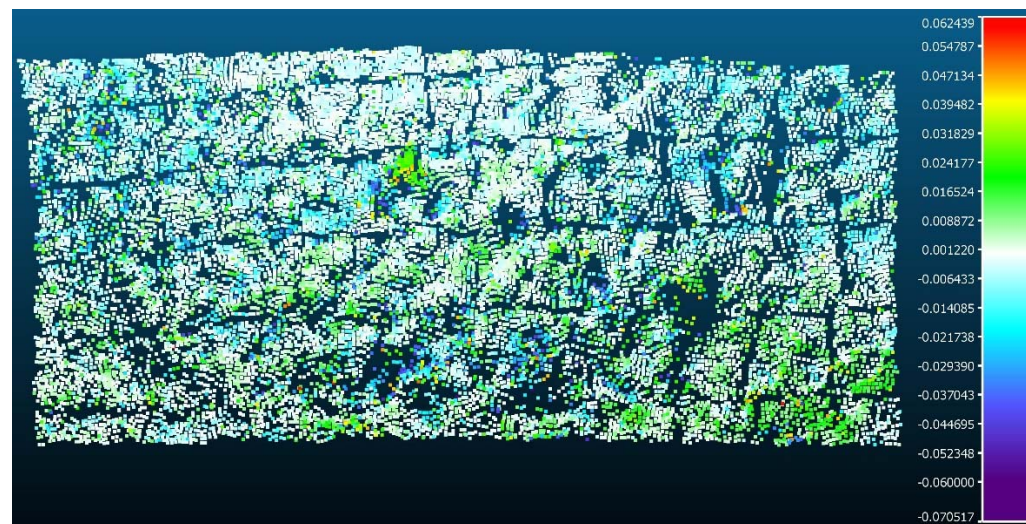
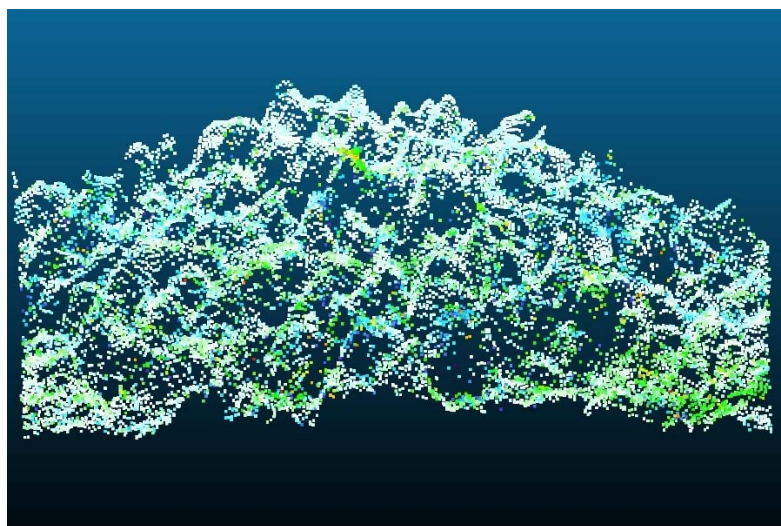


Figura 4- 4º época de estudo

Anexo

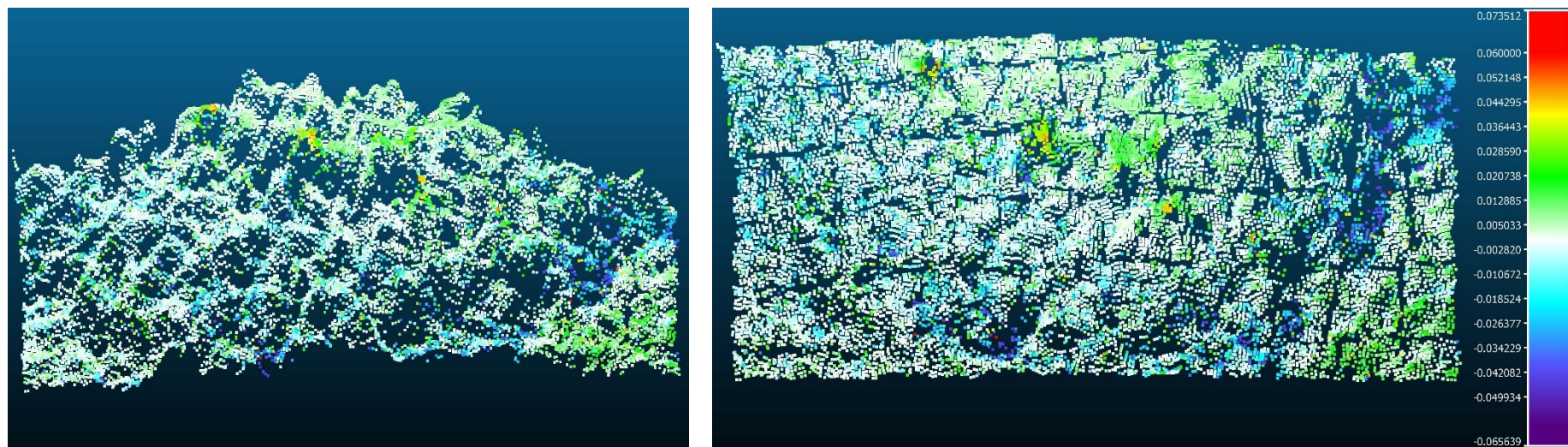


Figura 5- 5º época de estudo

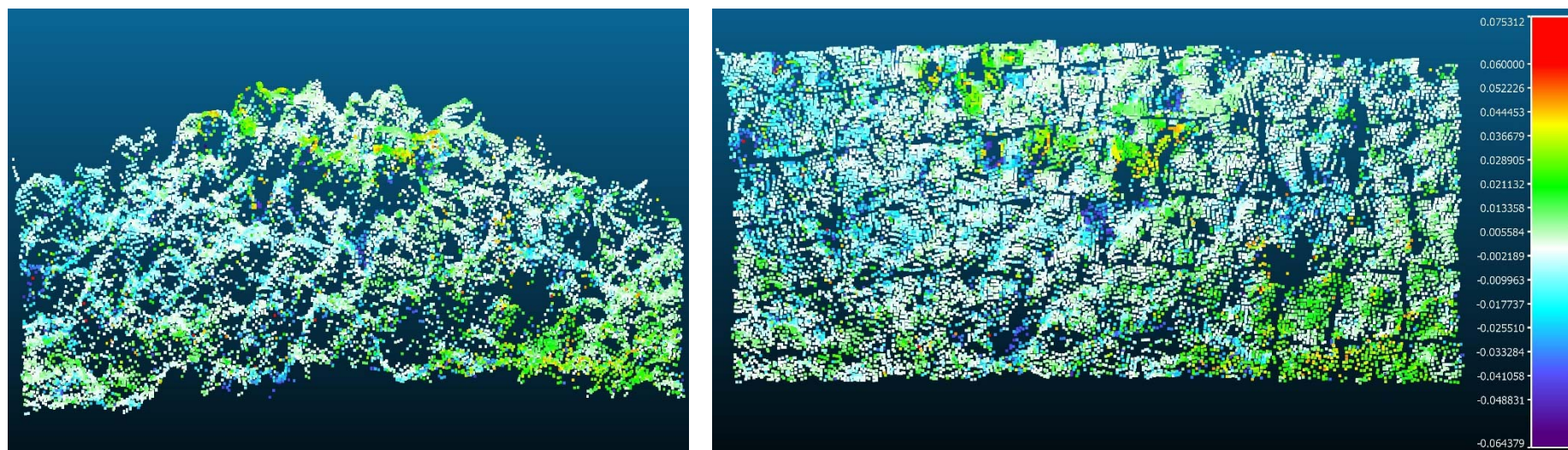


Figura 6 - 6º época de estudo